
DIPLOMARBEIT

Ing.
Thomas Stippich

Roboterprüfstand

Villach, 2015

DIPLOMARBEIT

Roboterprüfstand

Autor:

Ing. Thomas Stippich

Studiengang:

Maschinenbau/Mechatronik

Seminargruppe:

KM11wMGA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Klaus Müller

Zweitprüfer:

Dipl.-Ing. (FH) Markus Mumme

Einreichung:

Mittweida, 10.07.2015

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 24.07.2015

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Infineon Technologies Austria AG, Standort Villach, erstellt. Die Hauptkompetenzen in Villach liegen in der Forschung und Entwicklung sowie der Fertigung von Halbleiterlösungen, im speziellen bei Leistungshalbleitern. Außerdem wurden hier die ersten Mikrochips¹ auf einem 300mm Dünnyafer² gefertigt.

Die Wafer³ werden innerhalb der Produktion durch Industrieroboter bewegt. Haben diese Defekte bzw. sind Reparaturen nötig, werden sie zum Teil in der firmeninternen Werkstatt getätigt.

Danach werden die Industrieroboter direkt wieder in die Linie eingesetzt. Wurden dabei Fehler übersehen, so hatte dies den Stillstand einer Maschine oder im schlimmsten Fall den Ausfall von Wafer zur Folge.

Um diesen Ausfall zukünftig zu vermeiden, war es die Aufgabe, einen Roboterprüfstand inkl. der dafür benötigten Sensorik zu entwickeln, in dem die Roboter nach der Reparatur überprüft werden können.

Durch diese Überprüfung soll sichergestellt werden, dass es zu keinem Stillstand der Anlagen durch defekte Industrieroboter kommt.

Villach, Februar 2015

¹Mikrochip: kurz Chip, ist ein Halbleiterplättchen mit elektronischen Schaltelementen

²Dünnyafer: Wafer mit einer Dicke von <200µm

³Wafer: Scheibe aus Halbleitermaterial (z.B. Silizium)

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei meinem Diplomarbeitsbetreuer, Hr. Dipl.-Ing. (FH) Markus Mumme, der es ermöglicht hat, dass ich diese Diplomarbeit bei der Fa. Infineon Technologies schreiben konnte, sowie bei meinem Arbeitskollegen, Hr. Mathias Male, MSc, für seine tatkräftige Unterstützung, bedanken.

Weiteres möchte ich mich bei meinem Betreuer von der Hochschule Mittweida, Hr. Prof. Dr.-Ing. Klaus Müller, der mir mit Rat und Tat zur Seite stand, bedanken.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern, Manfred und Sylvia Stippich, sowie meiner Freundin, Elisabeth Jobst, bedanken. Sie hatten immer Verständnis für die nicht immer einfache Situation, welche ein Studium neben dem Beruf mit sich brachte, und haben mich in allen Lebenslagen unterstützt. Ohne Sie wäre dieses Studium und somit diese Diplomarbeit wohl nicht zustande gekommen.

Villach, im Juli 2015

Thomas Stippich



„Man merkt nie, was schon getan wurde; man sieht immer nur, was noch zu tun bleibt“

Marie Curie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	II
Danksagung	III
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis.....	XI
Abkürzungsverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 Firmenvorstellung	1
1.2 Problembeschreibung	3
1.3 Aufgabe	4
2 Theoretische Grundlagen	6
2.1 Koordinatensysteme	6
2.1.1 Kartesische Koordinatensysteme im Robotersystem	6
2.2 Transformationsmethoden	7
2.2.1 Beschreibung nach Denavit-Hartenberg (Vorwärtstransformation)	8
2.2.2 Beschreibung nach Jacobi (Inverse oder Rückwärts-Transformation)	8
2.3 Robotik	9
2.3.1 Grundbegriffe der Robotik	10
2.3.2 Einflüsse auf die Genauigkeit von IR	11
2.3.3 Grundsätzliche Einteilung der Roboter	12
2.3.4 Einteilung der Roboter nach Einsatzgebieten	14
2.3.5 Kinematisches System	16
2.3.6 Sensoren	20
2.3.7 Steuerung und Programmierverfahren	21
2.3.8 Arbeitsraum eines Industrieroboters	25
2.3.9 Robotersicherheit	27
2.4 Greifersysteme für das Handling von Wafer	29
2.4.1 Mechanische Greifer	31
2.4.2 Pneumatische Greifer	31
2.4.3 Bernoulli Greifer	31
2.4.4 Vakuum Greifer	33
2.4.5 Kombination aus Bernoulli und Vakuumgreifer	33
2.4.6 Elektrostatische Greifer	34
2.4.7 Adhäsive Greifer	35
3 Roboter bei Infineon	36
3.1 Brooks	36
3.1.1 Brooks Automation Z-Bot II	36
3.1.2 Brooks Automation Atmospheric Single-Arm Robot	38

3.1.3	Brooks Automation MagnaTran 7	39
3.2	Genmark Gencobot	40
3.3	Mattson	40
3.4	Fehlerbewertung der eingesetzten Roboter	41
4	Anwendbare Sensorik für den RP	44
4.1	Mechanische Sensoren	44
4.1.1	Seilzug-Wegsensor	44
4.1.2	Koordinatenmessmaschine	44
4.1.3	Messtaster	45
4.2	Optische Sensoren	46
4.2.1	Theodoliten / Tachymeter	46
4.2.2	Laserscanner	46
4.2.3	Lasertracker	47
4.2.4	3D-Lichtschnittverfahren	47
4.2.5	2D/3D Laser-Profilsensor	48
4.2.6	Mehrzweck-CCD-Laser-Mikrometer	49
4.2.7	Optisches LED Lichtbandmikrometer	50
4.2.8	Ranging Edge Detector	51
4.2.9	Multi-Funktions-CMOS-Analogsensor	51
4.3	Sonstige Sensoren	52
4.3.1	Ultraschallortung	52
4.3.2	GPS-Tracking	53
4.4	Kombinierte Methoden	53
4.4.1	Laserpointer / Auswertemonitor	53
4.4.2	Messtaster / Laser-Mikrometer	53
5	Ansätze	54
5.1	Entscheidungsanalyse	54
5.2	Implementierung in den Roboterprüfstand	55
5.3	Funktionsbeschreibung der eingesetzten Sensoren	55
5.3.1	Messtaster	55
5.3.2	Mehrzweck-CCD-Laser-Mikrometer	57
6	Durchführung	59
6.1	Mechanisch	59
6.1.1	Roboterprüfstand-Konstruktion Endfassung	59
6.1.2	Messeinheit Messtaster	61
6.1.3	Messeinheit CCD-Mikrometer	67
6.1.4	Messobjekt	69
6.1.5	Gestell (Grundrahmen)	70
6.1.6	Sicherheitslichtvorhang	70
6.1.7	Schaltschrank	71
6.1.8	Anbauteile	71
6.2	Pneumatisch	73
7	Validierung	74
7.1	Versuchsaufbau	74

7.2	Versuchsablauf	75
7.3	Messergebnisse.....	76
7.3.1	Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von einer Achse	76
7.3.2	Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von 3 Achsen	77
7.4	Ergebnisdiskussion.....	78
8	Problemanalyse	79
8.1	Implementierung eines neuen Messsystems	79
8.2	Neukonstruktion.....	79
9	Schlussfolgerung	81
9.1	Ziele.....	81
9.2	Umsetzung.....	82
9.3	Fazit.....	83
10	Literaturverzeichnis.....	84
11	Anhang	88
11.1	Messwerte Versuch: 1. Messung (Bewegung von einer Achse).....	88
11.2	Messwerte Versuch: 2. Messung (Bewegung von 3 Achsen).....	89
12	Selbstständigkeitserklärung.....	90

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1.1 Marktvolumen Leistungshalbleiterhersteller	1
Abb. 1.1.2 Wafer.....	2
Abb. 1.2.1 Waferablage	3
Abb. 1.2.2 Waferhandlingsysteme	3
Abb. 2.1.1 Kartesisches Koordinatensystem	6
Abb. 2.1.2 Polares Koordinatensystem	6
Abb. 2.1.3 Kartesische Koordinatensysteme im Robotersystem	7
Abb. 2.3.1 Anwendungsgebiete von IR in Deutschland	9
Abb. 2.3.2 Entwicklungsstufen im Bereich Robotik.....	10
Abb. 2.3.3 Darstellung Positionier- und Wiederholgenauigkeit.....	11
Abb. 2.3.4 Einflüsse auf die Genauigkeit von Industrieroboter	12
Abb. 2.3.5 Vakuum Schlauchheber	13
Abb. 2.3.6 Positioniersystem	13
Abb. 2.3.7 Industrieroboter in der Automobilindustrie.....	14
Abb. 2.3.8 Welt- und Europaweit verkaufte Industrieroboter	15
Abb. 2.3.9 Bauarten und Arbeitsräume von Industrierobotern.....	20
Abb. 2.3.10 Möglichkeiten der Bahnprogrammierung.....	24
Abb. 2.3.11 Zeitprofil ohne/mit Überschleifen	25
Abb. 2.3.12 Zylinderförmiger Arbeitsraum in Polarkoordinaten	25
Abb. 2.3.13 Halbkugelförmiger Arbeitsraum in Kugelkoordinaten	26
Abb. 2.3.14 Zylinderförmiger Arbeitsraum bei einem SCARA Roboter.....	26
Abb. 2.3.15 Halbkugelförmiger Arbeitsraum	26
Abb. 2.3.16 Sicherheitslichtgitter	27
Abb. 2.3.17 Roboter-Kollisionsbereiche (rot)	28
Abb. 2.3.18 Verriegelungspunkte zur Kollisionsvermeidung.....	29
Abb. 2.4.1 Klassifizierung industrieller Greifer	30
Abb. 2.4.2 Fünffach 12" Scherengreifer.....	31
Abb. 2.4.3 Bernoulli Greifer	32
Abb. 2.4.4 Kombiniertes Greifer	34
Abb. 2.4.5 Funktionsweise eines Gefriergreifers	35
Abb. 3.1.1 Brooks Z-Bot II	37
Abb. 3.1.2 Horde	37
Abb. 3.1.3 Brooks Automation Atmospheric Single Arm Robot	38

Abb. 3.1.4 Robotereinbaumöglichkeiten: Top-Mount / Bottom-Mount	38
Abb. 3.1.5 Brooks Automation MagnaTran 7	39
Abb. 3.2.1 Genmark Gencobot	40
Abb. 4.1.1 Seilzug-Wegsensor	44
Abb. 4.1.2 Koordinatenmessmaschine	45
Abb. 4.1.3 Messtaster	45
Abb. 4.2.1 Theodolit	46
Abb. 4.2.2 Laserscanner	47
Abb. 4.2.3 Lasertracker	47
Abb. 4.2.4 Lichtschnittverfahren	48
Abb. 4.2.5 3D Laser-Profilesensor	49
Abb. 4.2.6 CCD-Laser-Mikrometer	49
Abb. 4.2.7 Optisches LED-Lichtbandmikrometer	50
Abb. 4.2.8 Ranging Edge Detector	51
Abb. 4.2.9 Multi-Funktions-CMOS-Analogsensor	52
Abb. 4.3.1 Ultraschallsensor	52
Abb. 4.3.2 μ -GPS	53
Abb. 5.3.1 Messtaster-Technologie	56
Abb. 5.3.2 CCD-Laser-Mikrometer-Technologie	57
Abb. 6.1.1 Roboterprüfstand mit einem P-5000 Roboter	60
Abb. 6.1.2 Zusammenbau Messeinheit Messtaster	61
Abb. 6.1.3 Sensoreinheit Messtaster	62
Abb. 6.1.4 Sicherheitsscharnier mit Abschaltplatte	63
Abb. 6.1.5 Federelement	64
Abb. 6.1.6 Messtasterhalterung	64
Abb. 6.1.7 Gleitführung-Zusammenbau	65
Abb. 6.1.8 Platte mit Tragegriff	66
Abb. 6.1.9 Energiekette	66
Abb. 6.1.10 Zusammenbau Messeinheit CCD-Mikrometer	67
Abb. 6.1.11 Sensoreinheit CCD-Mikrometer	68
Abb. 6.1.12 CCD-Mikrometer Halterung	68
Abb. 6.1.13 Roboter mit Messobjekt am TCP	69
Abb. 6.1.14 Formrohrgestell	70
Abb. 6.1.15 Sicherheitslichtvorhang	71
Abb. 6.2.1 Pneumatikschaltplan Roboterprüfstand	73
Abb. 7.1.1 Versuchsaufbau mit einem Mattson Roboter	74

Abb. 7.2.1 Versuchsaufbau mit ausgefahrenem Roboterarm	75
Abb. 7.3.1 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von einer Achse	76
Abb. 7.3.2 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von 3 Achsen	77
Abb. 7.4.1 Vermessung mit Messtaster und CCD-Mikrometer	78
Abb. 8.2.1 Neukonstruktion der Messeinheit für die Positionsbestimmung	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Reinraumklassen nach DIN EN ISO 14664-1	28
Tabelle 3.1 Fehlerbewertung der Anlage Mattson Aspen II	41
Tabelle 3.2 Fehlerbewertung der Anlage Amat	41
Tabelle 3.3 Fehlerbewertung der Anlage Gasonic	42
Tabelle 3.4 Fehlerbewertung der Anlage EVG	42
Tabelle 3.5 Fehlerbewertung der Anlage Lam Alliance	42
Tabelle 3.6 Fehlerbewertung der Anlage Lam TCP / Rainbow	43
Tabelle 5.1 Bewertung der gefundenen Sensoren	54
Tabelle 11.1 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von einer Achse	88
Tabelle 11.2 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von 3 Achsen	89

Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
µm	Mikrometer; 10^{-6}m (0,001mm)
AC	<u>A</u> lternating <u>C</u> urrent, engl.: Wechselstrom
AR	<u>A</u> utonome <u>R</u> oboter
BKS	<u>B</u> asisk <u>o</u> ordinatensystem
CAD	<u>C</u> omputer <u>A</u> ided <u>D</u> esign, engl.: Rechnerunterstütztes Konstruieren
CAR	<u>C</u> omputer <u>A</u> ided <u>R</u> obotic, engl.: Rechnerunterstützte Robotertechnik
CCD	<u>C</u> harged <u>C</u> ouple <u>D</u> evice, engl.: Ladungsgekoppeltes Bauteil
CMOS	<u>C</u> omplementary <u>M</u> etal- <u>O</u> xide- <u>S</u> emiconductor, engl.: Sich ergänzender Metall-Oxid-Halbleiter
Circ	<u>C</u> ircular (Bahnprogrammierung eines Roboters)
CPU	<u>C</u> entral <u>P</u> rocessing <u>U</u> nit, engl.: Prozessor eines Computers
CP	<u>C</u> ontinuous <u>P</u> ath (Bahnprogrammierung eines Roboters)
DC	<u>D</u> irect <u>C</u> urrent, engl.: Gleichstrom
DH	<u>D</u> enavit <u>H</u> artenberg (kinematische Beschreibungsform)
Dt	<u>D</u> eutsch
El.	<u>E</u> lektrisch
Engl.	<u>E</u> nglisch
Fa.	<u>F</u> irma
Fab	<u>F</u> abrik
F&E	<u>F</u> orschung <u>u</u> nd <u>E</u> ntwicklung
GaN	<u>G</u> allium <u>n</u> itrid
offs	<u>O</u> ffset, engl.: Ausgleichen
GR	<u>G</u> elände <u>r</u> oboter
HL(-LED)	<u>H</u> ohe <u>L</u> euchtstärke(-LED)
i	Laufvariable
I	Formelzeichen des elektrischen Stroms
IC	<u>I</u> ntegratet <u>C</u> ircuit, engl.: Integrierter Schaltkreis
I-DSP	Paralleler Rechenchip, Firmenbezeichnung von Keyence
IR	<u>I</u> ndustrie <u>r</u> oboter
KMM	<u>K</u> oordinaten <u>m</u> ess <u>m</u> aschine
KS	<u>K</u> oordinatensystem

L-CCD	<u>L</u> inearized- <u>C</u> harge <u>C</u> ouple <u>D</u> evice, engl.: Linearisiertes ladungsgekoppeltes Bauteil
LED	<u>L</u> ight <u>E</u> mitting <u>D</u> iode, engl.: Lichtemittierende Diode
MTTF	<u>M</u> ean <u>T</u> ime <u>T</u> o <u>F</u> ailure, engl.: mittlere Lebensdauer
PTP	<u>P</u> oint <u>T</u> o <u>P</u> oint, engl. Punkt zu Punkt
R.U.R	<u>R</u> ossums <u>U</u> niversal <u>R</u> obot
R	<u>R</u> otationsmatrix
RS	<u>R</u> obotersystem
RED	<u>R</u> anging <u>E</u> dge <u>D</u> etector, engl.: Bereichs-Kanten-Detektor
RP	<u>R</u> oboterprüfstand
RS(-CMOS)	<u>R</u> =high Resolution, engl.: hohe Auflösung; <u>S</u> =high Speed, engl.: hohe Geschwindigkeit (-CMOS)
SCARA	<u>S</u> elective <u>C</u> ompliance <u>A</u> ssembly <u>R</u> obot <u>A</u> rm, engl.: Horizontaler Gelenkarmroboter
Si	<u>S</u> ilizium
SiC	<u>S</u> iliziumcarbide
SPS	<u>S</u> peicher <u>P</u> rogrammierbare <u>S</u> teuerung
SR	<u>S</u> erviceroboter
TCP	<u>T</u> ool <u>C</u> enter <u>P</u> oint, Arbeitspunkt des Endeffektors eines Roboters
U	Formelzeichen der elektrischen Spannung
v.E.	vom <u>E</u> ndwert

1 Einleitung

1.1 Firmenvorstellung

Infineon Technologies AG ist der größte Hersteller von Leistungshalbleitern (Stand 2007, siehe Abb. 1.1.1) [1] und rangiert auf Platz 14 (Stand 2013) der größten Mikrochiphersteller weltweit. [2]

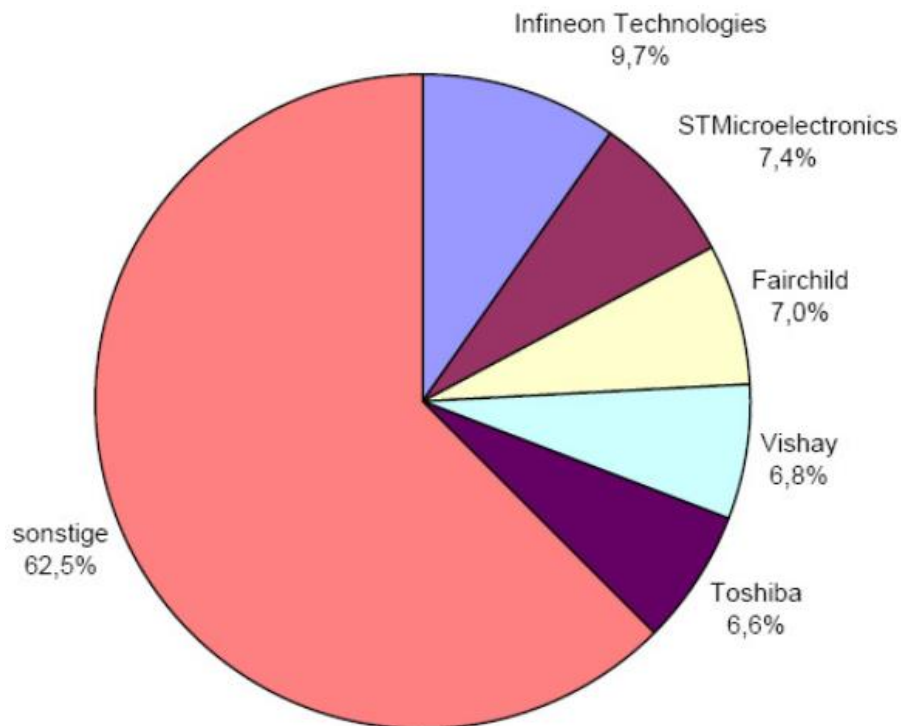


Abb. 1.1.1 Marktvolumen Leistungshalbleiterhersteller [1]

Die Tochterfirma Infineon Technologies Austria AG mit Hauptsitz in Villach ist ein Konzernunternehmen der Infineon Technologies AG, und besitzt weitere Niederlassungen in Graz, Linz und Wien. Der Standort Villach verfügt dabei über Kompetenzen in den Bereichen Forschung und Entwicklung (F&E), Fertigung sowie der globalen Geschäftsverantwortung.

Im Mittelpunkt der Aktivitäten in Villach stehen die Erhöhung der Energieeffizienz und die Systemminiaturisierung durch innovative Leistungshalbleiter. Dadurch ist Infineon in der Lage, immer kleinere und energieeffizientere Chips mit immer höheren Wirkungsgraden (über 90%) zu entwickeln und zu produzieren. Diese Chips kommen in der Unterhaltungselektronik, Computern, Kommunikation, Beleuchtung, Windparks und Photovoltaikanlagen zum Einsatz.

Gefertigt werden diese Chips auf Scheiben aus einem Halbleitermaterial (wie z.B. Silizium [Si], Siliziumkarbid [SiC], Galliumnitrid [GaN], usw.), den sogenannten Wafer. Die Wafer werden bei Infineon in den Größen 4" (~100mm), 6" (~150mm), 8" (~200mm) und 12" (~300mm) hergestellt. (Abb. 1.1.2). Die durchschnittliche Dicke beträgt, je nach Waferdurchmesser, zwischen 80µm bis 1000µm.

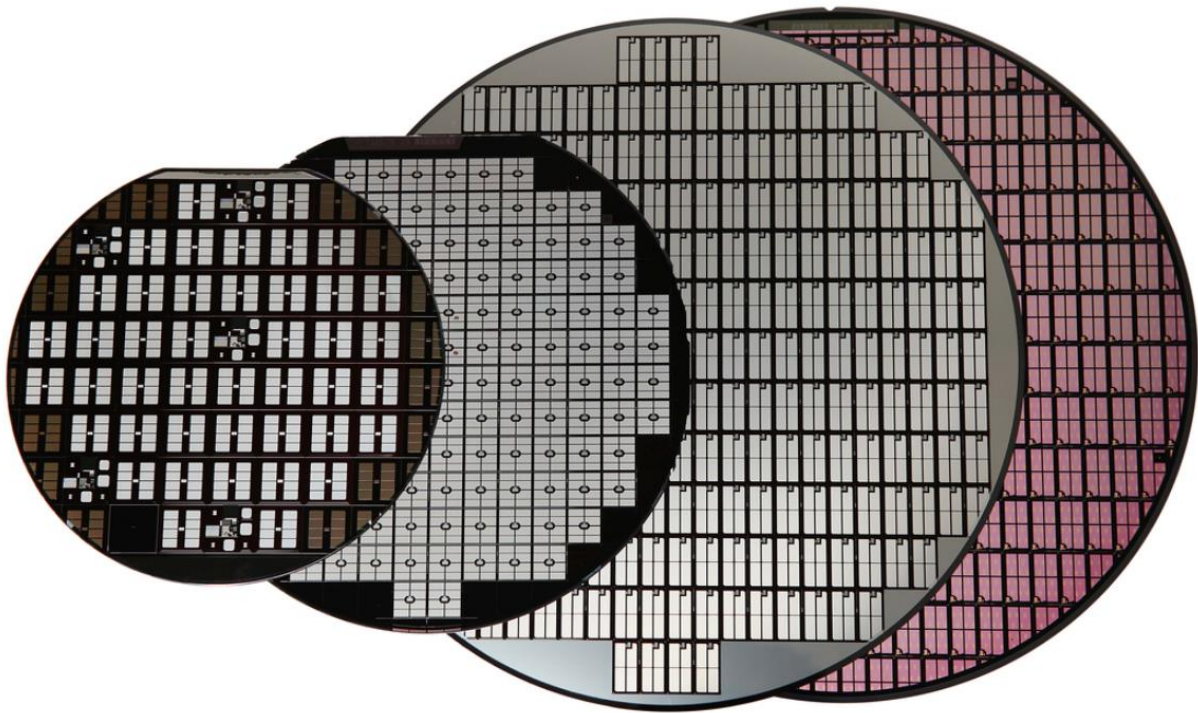


Abb. 1.1.2 Wafer [3]

Als einer der größten Hersteller von integrierten Sensoren (z.B. Drucksensoren bei Reifendruck-Überwachungssystemen) weltweit hat Infineon Technologies Austria AG in Summe bisher über drei Milliarden Sensorbauteile für automobiler Anwendungen ausgeliefert. [4]

Der Schwerpunkt der F&E liegt im Bereich der Halbleiterlösungen für Automobil, Industrie und Sicherheit (Chips zur Motorsteuerung, Energieeffizienzchips, kontaktlose Sicherheitsbausteine für Ausweise, ...).

Für Infineon forschen rund 950 Expertinnen und Experten in den Development Centers Villach und Graz, in der Beteiligungsgesellschaft DICE in Linz sowie der Tochtergesellschaft Infineon Technologies IT Services GmbH in Klagenfurt.

Kurze Entwicklungszeiten, höchste Qualität und der Fokus auf kundenorientierte Systemlösungen zeichnen die Arbeit der Spezialistinnen und Spezialisten bei Infineon aus. [5]

1.2 Problembeschreibung

Die bei Infineon produzierten Bausteine werden in Form von Wafern durch Handlingsysteme (Abb. 1.2.1) in die dafür vorgesehenen Waferablagen, den sogenannten Horden (Abb. 1.2.2) bewegt. Danach werden die Wafer weiter bearbeitet (Plasmaätzung, Nasschemische Reinigung, Lithographie,...) und die Schichtdicken vermessen.



Abb. 1.2.1 Waferablage [6]



Abb. 1.2.2 Waferhandlingsysteme [7]

Im Regelfall sind diese Waferhandlingsysteme Industrieroboter (IR). Bei Infineon werden Roboter von den unterschiedlichsten Herstellern wie beispielsweise Brooks oder Genmark eingesetzt. Diese Systeme werden von speziell geschulten Mitarbeitern gewartet und bei Defekten repariert. Das Problem nach einer Reparatur besteht derzeit in der Überprüfung der Roboternavigation.

Dieses Problem kann in drei grundsätzlichen Punkten zusammengefasst werden:

- Wo bin ich aktuell?
- Wohin muss ich mich bewegen?
- Wie kann ich dorthin gelangen?

Um diese Punkte beantworten zu können, ist es wichtig, die genaue Position des Endeffektors⁴ (engl.: Tool Center Point (TCP)) am IR bestimmen zu können.

Wurden die Industrieroboter nach einem Defekt (z.B. Lagerschäden etc.) in der firmeninternen Werkstatt repariert, so kann danach nicht gewährleistet werden, dass der Roboter seine Aufgaben fehlerfrei erledigen kann, da es derzeit keine Möglichkeit zur Überprüfung von IR bei Infineon gibt.

1.3 Aufgabe

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es gewährleisten zu können, dass wenn die reparierten IR wieder in die Fertigungslinien eingesetzt werden sie die Positionen der Wafer-Ablagen genau anfahren.

Dafür soll einerseits eruiert werden, welche Sensoren für diese Aufgabe eingesetzt werden können sowie andererseits die Konstruktion mit dem firmeninternen CAD-Programm (Solid Edge St7) getätigt werden.

Da unterschiedliche Roboter von verschiedenen Herstellern getestet werden müssen, ist es wichtig, den Roboterprüfstand so auszulegen, dass ein schnelles und einfaches Austauschen der unterschiedlichen Typen gewährleistet ist. Außerdem ist zu beachten, dass die Einbauarten der Roboterlagen unterschiedlich sind, z.B.

- Bodenmontage
- Befestigung auf einer Montageplatte
- von unten aufgeschraubt auf eine Montageplatte

⁴Endeffektor: der ausführende Teil des IR, beispielsweise ein Greifer oder eine Schweißeinheit

Nicht bei allen Robotertypen gibt es die Möglichkeit, jede beliebige Position anzusteuern, da sie aufgrund ihres kinematischen Aufbaus nur in bestimmten Winkelstellungen ausfahren können (z.B. ein Roboter vom Typ Mattson: Ausfahrt des TCP ist nur in den Winkelstellungen 90°, 180°, 270°, 360° möglich). Für den Roboterprüfstand heißt das also, dass die Positionen der Messstationen nicht fixiert sein dürfen, sondern in x-Richtung, y-Richtung und in z-Richtung frei positionierbar sein müssen. Aufgrund der Genauigkeit der eingesetzten Roboter (die Roboter arbeiten mit einer Wiederholgenauigkeit bis zu 5/100 mm) müssen die Messmittel eine Messgenauigkeit von min. 1/100mm (inkl. Messmitteltoleranzen) haben.

Bei derart hohen Anforderungen der Messmittel ist darauf zu achten, dass die Grundkonstruktion, auf welche die Messeinheiten sowie die Roboter montiert werden, stabil genug ausgeführt ist. Konstruktiv bedingte Messunsicherheiten (durch locker werdende Schraubverbindungen, instabile Messeinheiten etc.) müssen vermieden werden.

Neben der Vermessung des TCP vom Roboter soll auch die Linearität des Roboterarms überprüft werden.

Während des Messvorganges muss gewährleistet sein, dass kein Kontakt des Roboters mit dem Menschen zustande kommen kann. Aufgrund der hohen Anlaufmomente und der schnellen Bewegungen des Roboters kann es ansonsten zu schweren Verletzungen führen. Daher müssen die sicherheitstechnischen Aspekte lückenlos gewährleistet sein.

Optional kann der Roboterprüfstand auch zum Testen von neu entwickelten Greifersystemen für das Bewegen und Positionieren von Wafern (Waferhandling) eingesetzt werden.

Detaillierte Einzelteilzeichnungen sind nicht Bestandteil dieser Diplomarbeit, es wurden nur dreidimensionale Konzepte zur Veranschaulichung der Konstruktion eingebunden.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Koordinatensysteme

Ein Koordinatensystem (KS) dient zur Bestimmung der Position von Punkten in einem geometrischen Raum. Grundsätzlich wird zwischen kartesischen Koordinatensystemen (Abb. 2.1.1), welches orthogonal aufgebaut ist, und polaren Koordinatensystemen (Abb. 2.1.2), bei dem jeder Punkt durch seinen Abstand vom Koordinatenursprung durch den Winkel φ bestimmt ist, unterschieden. Im kartesischen KS wird die Lage eines Objektes durch die Position (x, y, z) bestimmt, im polaren KS durch die Orientierung (Θ_1 =Drehung, Θ_2 =Neigung, Θ_3 =Beugung).

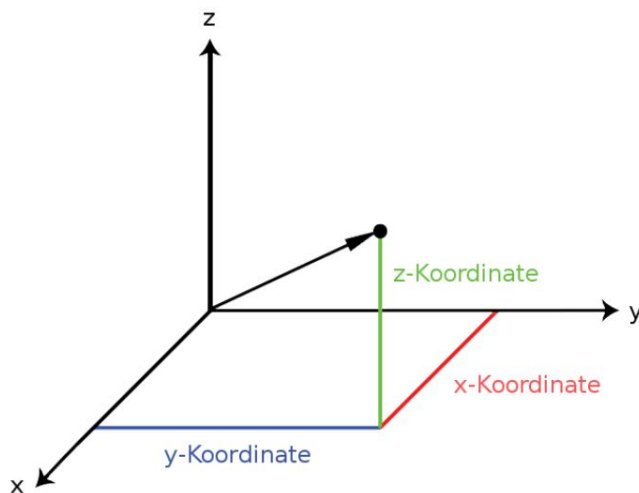


Abb. 2.1.1 Kartesisches Koordinatensystem

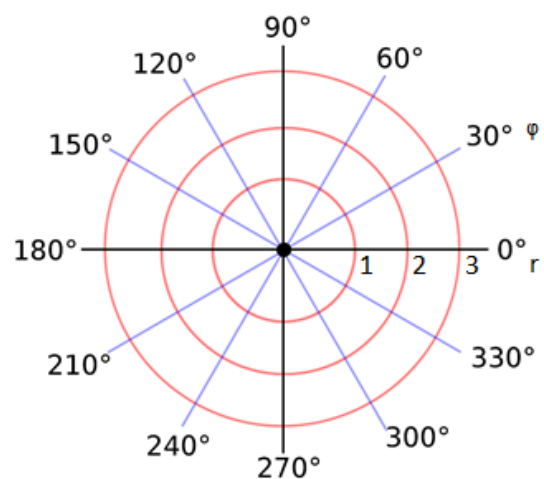


Abb. 2.1.2 Polares Koordinatensystem

2.1.1 Kartesische Koordinatensysteme im Robotersystem

Das kartesische KS dient zur Bestimmung der einzelnen Komponenten im Robotersystem.

- **World:**
 - Beschreibt das Gesamtkoordinatensystem eines Roboters
 - Unabhängig von der Bewegung des Roboters
 - Ursprung für Koordinatensysteme ROBROOT und BASE

- **ROBROOT** (Basis-Koordinaten): Liegt immer im Roboterfuß und beschreibt die Position des Roboters im WORLD-Koordinatensystem. Mit \$ROBROOT kann eine Verschiebung zum WORLD-Koordinatensystem angegeben werden.
- **Base** (Objekt-Koordinaten): Beschreibt die Position des Werkstücks. Bezieht sich auf WORLD
- **Tool** (Werkzeug-Koordinaten): Bezieht sich auf das BASE Tool im Flanschmittelpunkt vom Flansch-Koordinatensystem. Tool wird vom Benutzer in den Arbeitspunkt des Werkzeugs verschoben.

Stützpunkt: WORLD-Koordinatensystem im Roboterfuß (ROBROOT)

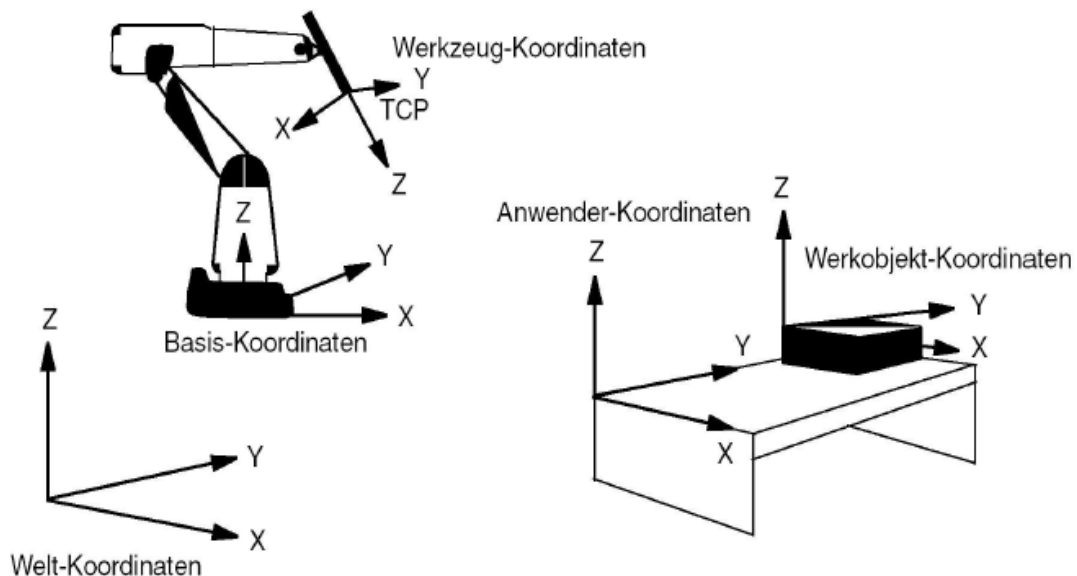


Abb. 2.1.3 Kartesische Koordinatensysteme im Robotersystem [8]

2.2 Transformationsmethoden

Um die Transformationen von IR beschreiben zu können, wird ein fester Ursprung und drei feste Achsen als Weltkoordinatensystem⁵ festgelegt. Zusätzlich ordnet man jedem geometrischen Objekt ein lokales Koordinatensystem (Abb. 2.1.3) zu [9]. Als Transformationsmethoden finden in der Robotertechnik hauptsächlich die Beschreibung nach Denavit-Hartenberg sowie die Beschreibung nach Jacobi Verwendung.

⁵Weltkoordinatensystem: Ist ein Koordinatensystem, dem alle anderen Koordinatensysteme zugrunde liegen

2.2.1 Beschreibung nach Denavit-Hartenberg (Vorwärtstransformation)

Bisher wurden die Koordinatensysteme intuitiv gewählt. D.h. verschiedene Anwender haben verschiedene Beschreibungen einer Aufgabe. Die Methode nach Denavit-Hartenberg (DH) beschreibt benachbarte Bezugssysteme durch vier Transformationen in gleicher Reihenfolge (immer eindeutig \rightarrow 2 Rotationen, 2 Translationen). Man beschränkt die Freiheitsgrade der Koordinatensysteme also um eine Drehachse und eine Linearachse. Dadurch können alle mechanisch möglichen Gelenkverbindungen mit nur einem Freiheitsgrad beschrieben werden.

Die grundsätzlichen Fragen der Vorwärts-Kinematik in Robotersystemen sind:

- Wohin bewegt sich der Roboter?
- Wo befinden sich die Glieder?

Jedes Glied der kinematischen Kette ist mit einem körperfesten Koordinatensystem verbunden. Die Koordinatentransformation zwischen zwei benachbarten Gliedern hängt dabei nur von der Koordinate des zu verbindenden Gelenks ab.

2.2.2 Beschreibung nach Jacobi (Inverse oder Rückwärts-Transformation)

Dabei handelt es sich um eine Umkehrrelation, bei dem aus der Lage des TCP die achsspezifischen Gelenkkoordinaten bestimmt werden. Dabei gelten keine allgemeingültigen Lösungskonzepte, d.h. die Lösung ist im Allgemeinen nicht eindeutig.

Die grundsätzlichen Fragen der Invers-Kinematik in Robotersystemen sind:

- Wie kommt der Roboter dahin?
- Wie sollen die Glieder sich bewegen?

Das Problem ist, dass es unerreichbare Stellungen geben kann, also Punkte, die vom Roboter nicht angefahren werden können. Außerdem kann es zu unzulässigen Stellungen aufgrund von zu hohen Kräften, Beschränkung von Gelenkwinkeln sowie Kollisionen mit Objekten oder dem Roboter selbst kommen. [10]

2.3 Robotik

IR sind im heutigen Zeitalter nicht mehr wegzudenken. Die Gründe für die immer größere Anwendung von automatischen Systemen sind einerseits die steigende Produktivität, die damit verbundene Wirtschaftlichkeit, welche die Automatisierung mit sich bringt, sowie andererseits die Arbeitssicherheit in der Fertigung. Vieles wäre ohne IR nur mehr mit hohem menschlichem Aufwand bzw. nur unter großen Wirtschaftlichkeitsverlusten zu realisieren.

Der Begriff „Roboter“⁶ stammt vom tschechischen Autor Karel Capek und kommt in seinem Drama „R.U.R.“⁷ erstmals vor. Heute versteht man unter einem Roboter eine allgemein einsetzbare, programmierte Maschine, die ein programmiertes Bewegungsmuster bis zur Neuprogrammierung immer wieder ausführt. Meistens arbeitet ein Roboter mit anderen automatischen Einrichtungen zusammen. Wurden Roboter in den Anfangszeiten noch für einfache, monotone Arbeiten eingesetzt, so sind sie heute für vielzähligen Anwendungen im Einsatz (Abb. 2.3.1). [9]

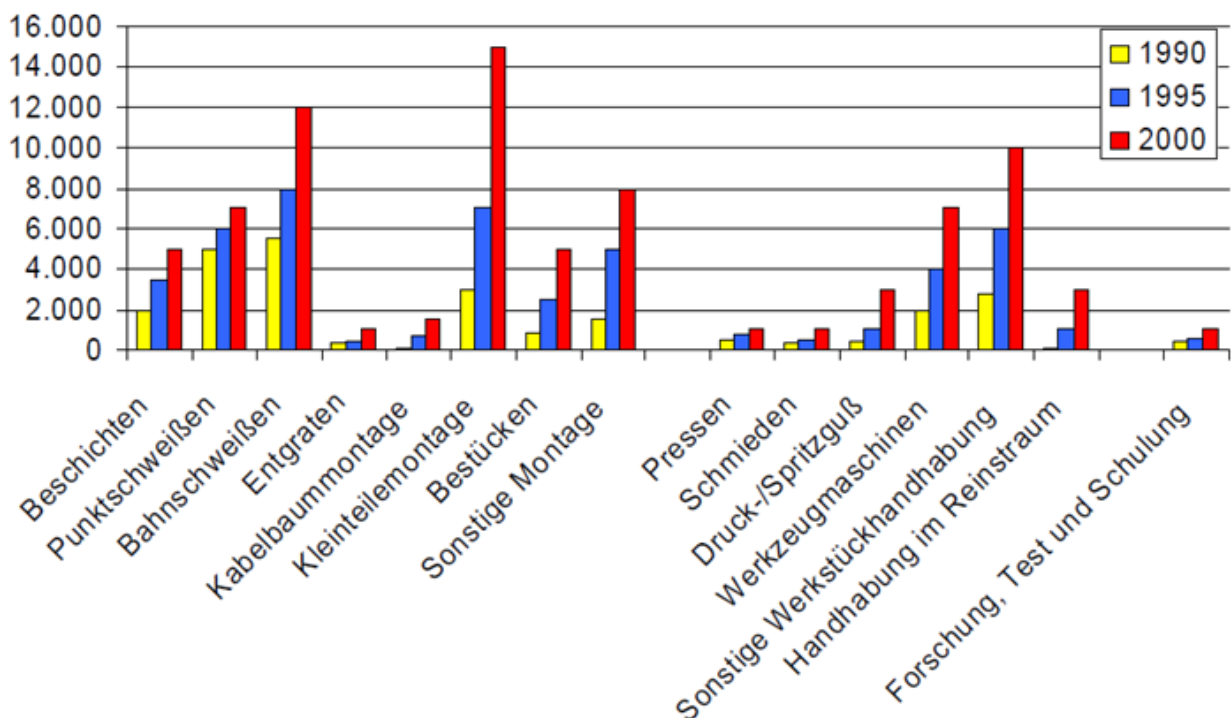


Abb. 2.3.1 Anwendungsgebiete von IR in Deutschland [10]

⁶Roboter: robota, tschech.: Schwerarbeit leisten

⁷R.U.R.: Rossums Universal Robot

Die Entwicklung im Bereich der Robotik schreitet stetig voran. Wurde bis 1975 noch mit einfachen Manipulatoren gearbeitet, geht die Zukunft immer mehr in Richtung Vollautomatisierung und künstlicher Intelligenz (Abb. 2.3.2).

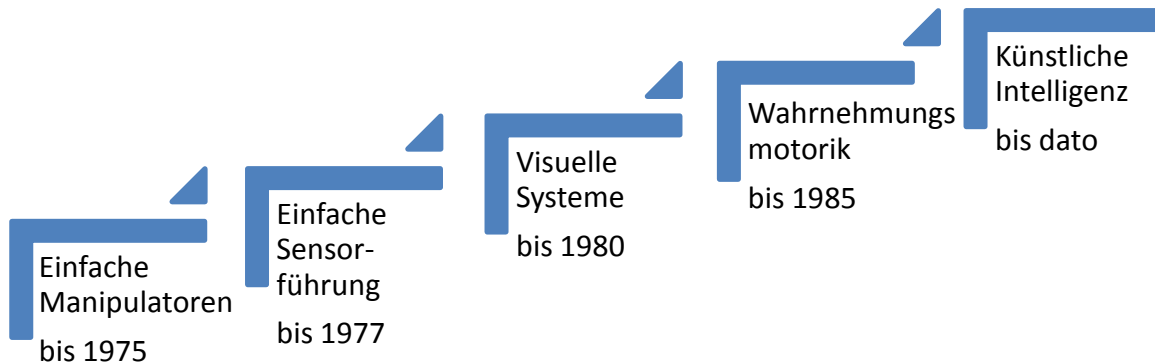


Abb. 2.3.2 Entwicklungsstufen im Bereich Robotik [9]

2.3.1 Grundbegriffe der Robotik

Effektor, Hand:

Er führt die Aufgabe aus (Greifer, Messmittel, Werkzeug).

Roboterarm:

Übernimmt das Führen eines Effektors.

Freiheitsgrad:

Gibt die Anzahl der Bewegungen im kartesischen Raum an (=Anzahl der Gelenke).

Genauigkeit:

Ist der Unterschied zwischen der errechneten Position und der gemessenen Position.

- Wiederholgenauigkeit: Beschreibt die Abweichung bei einem mehrfachen Anfahren eines Punktes (Abb. 2.3.3)
- Posegenauigkeit: Beschreibt die Abweichung, mit der ein von außen vorgegebener Punkt angefahren wird (z.B. durch ein Offline-Programmiersystem)

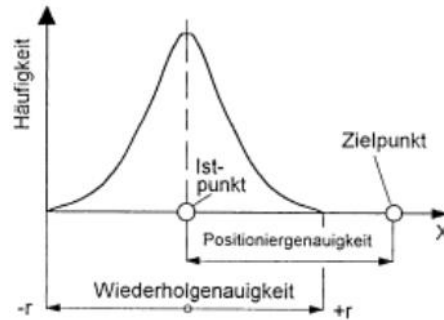


Abb. 2.3.3 Darstellung Positionier- und Wiederholgenauigkeit

[11]

Manipulator:

Dieser besteht aus einem Arm, einem Handgelenk und dem Endeffektor. Die einzelnen Komponenten sind durch Gelenke miteinander verbunden.

Reproduzierbarkeit:

Ist die Fähigkeit, die vorhergehende Position wieder zu erreichen.

2.3.2 Einflüsse auf die Genauigkeit von IR

Wie genau ein IR seine Tätigkeiten verrichtet, hängt von mehreren Einflussgrößen ab (Abb. 2.3.4). Die Einflussgrößen können in stochastische und systematische Fehler unterteilt werden.

Stochastische Fehler (Getriebeispiel, Lagerreibung, Auflösung der Messsysteme und Sensoren) charakterisieren die Güte der Wiederholgenauigkeit und können nicht beeinflusst werden. Durch ständige Weiterentwicklung werden diese Fehler aber immer weiter reduziert.

Die systematischen Fehler (unzureichende Justierung, Vibration, Transformationsverfahren) charakterisieren die Pose-Genauigkeit und können mittels Korrekturmaßnahmen verbessert werden. Die Pose-Genauigkeit der heutigen, modernen IR liegt im 1/100mm-Bereich. [12]

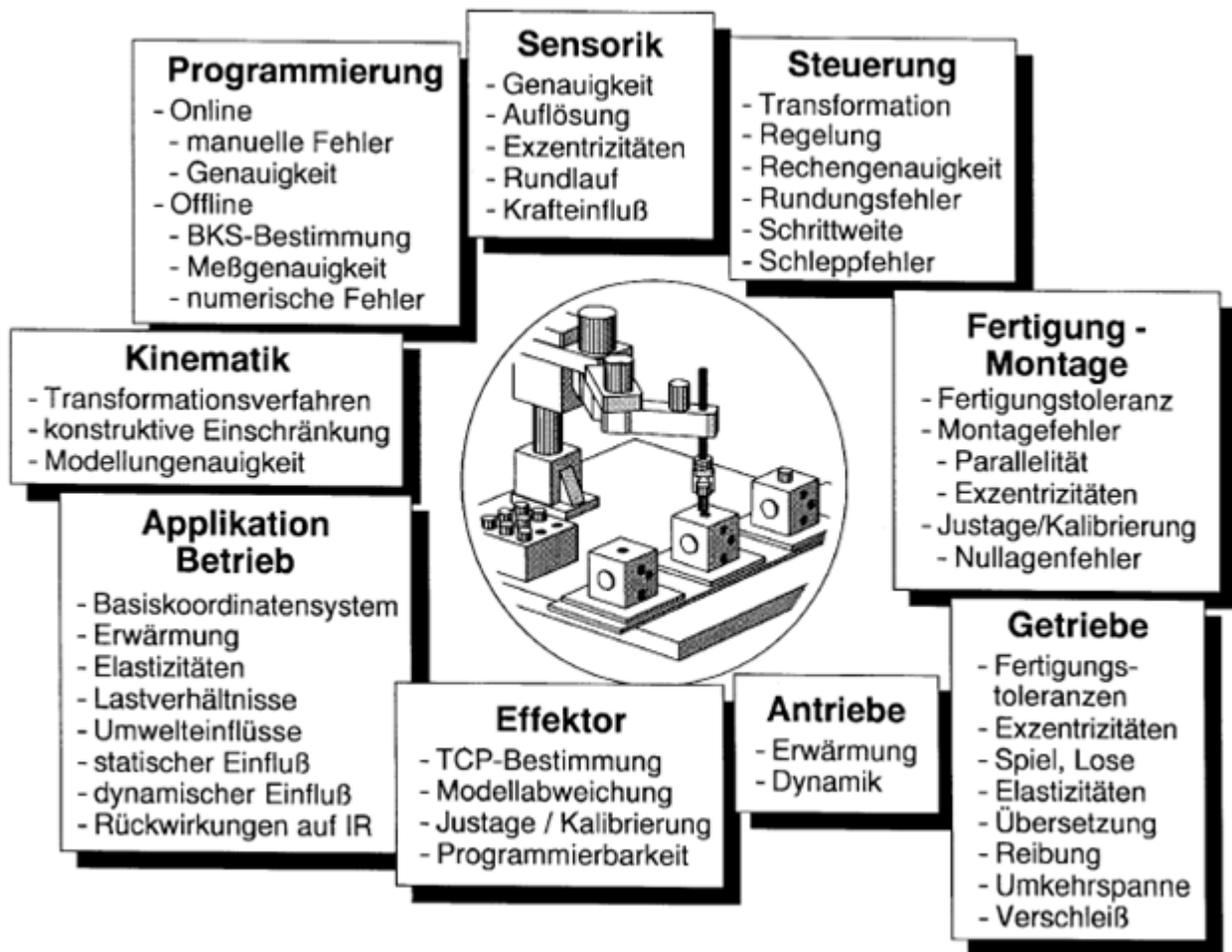


Abb. 2.3.4 Einflüsse auf die Genauigkeit von Industrieroboter

[13]

2.3.3 Grundsätzliche Einteilung der Roboter

Man unterscheidet in der Robotik zwischen:

- Manuell unter Sichtkontrolle gesteuerte Manipulatoren
- Fest programmierten Handhabungssystemen
- Technologischer IR

2.3.3.1 Manuell unter Sichtkontrolle gesteuerte Manipulatoren

Diese werden eingesetzt bei einfachen, häufig gleichartige Bewegungen, die durch wenige Punkte im Raum definiert sind (z.B. ein Vakuum Schlauchheber, Abb. 2.3.5).



Abb. 2.3.5 Vakuum Schlauchheber [14]

2.3.3.2 Fest programmierten Handhabungssysteme

Diese sogenannten „pick-and-place“ Geräte (Positioniersysteme) werden eingesetzt, wenn Bauteile oder Werkstücke von einem Arbeitsplatz entnommen und an einem anderen Arbeitsplatz platziert werden sollen (Abb. 2.3.6).



Abb. 2.3.6 Positioniersystem [15]

2.3.3.3 Technologischer Industrieroboter

IR sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten, deren Bewegungsfolgen frei programmierbar sind. Nach ihrer Programmierung wird kein Arbeiter mehr benötigt, der den IR steuert. Dadurch steht im Krankheitsfall eines Mitarbeiters der IR nicht still und kann über einen langen Zeitraum monotone und physisch schwere Arbeiten verrichten. Lärm, Hitze, Staub etc. machen einem IR wenig aus. Zudem können diese Systeme schnellere und gleichmäßigere Bewegungsabläufe verrichten als der Mensch (Abb. 2.3.7). Vor allem in der Serienproduktion von Werkstücken ist der Einsatz von IR mit großen wirtschaftlichen Vorteilen verbunden. [9]



Abb. 2.3.7 Industrieroboter in der Automobilindustrie [16]

2.3.4 Einteilung der Roboter nach Einsatzgebieten

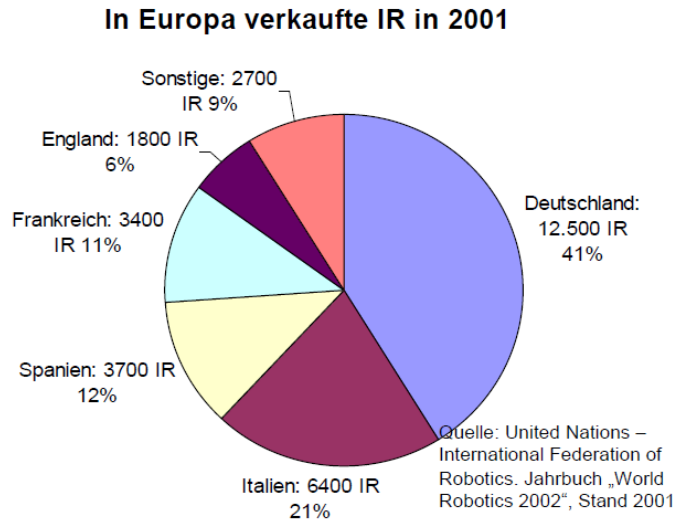
2.3.4.1 Industrieroboter

Diese programmierbaren Maschinen, auch industrielle Manipulatoren genannt, werden für arbeiten in Fabriken (Handhabung, Montage oder Bearbeitung von Werkstücken) und Montagehallen eingesetzt. Die Anzahl der eingesetzten Roboter steigt von Jahr zu Jahr (Abb. 2.3.8). Sie können komplizierte Bewegungen sowie lange Bewegungssequenzen ausführen. Die Bewegungen der IR werden durch mehrere Punkte im Raum bestimmt.

Typische Beispiele für IR sind:

- Schweißroboter
- Lackierroboter
- Montageroboter
- Roboter für Sortierungsarbeiten
- Fügeroboter (Kleben, Abdichten)
- Bestückungsroboter
- Messroboter

Installierte Roboter (gesamt) in 2011	
Land	Stück
Japan ¹⁾	307.201
USA, CDN, MEX	184.679
Europa	369.965
Deutschland	157.241
Italien	62.245
Frankreich	34.461
England	13.641
Andere Europa	66.640
Südkorea ¹⁾	124.190
Taiwan ¹⁾	29.837
China ¹⁾	74.317
Weltweit	1.153.097
1) Japan/Asien rechnet so genannte „roboterähnliche Spezialgeräte“ den Robotern zu.	
Quelle: United Nations – International Federation of Robotics. Jahrbuch „www.ifr.org“	



Hersteller	Hergestellte Roboter in 2001
Fanuc	12.000
ABB	10.000
Kuka	7.300
Quelle: VDI nachrichten 9. August 2002	

Abb. 2.3.8 Welt- und Europaweit verkaufte Industrieroboter [9]

2.3.4.2 Serviceroboter

Serviceroboter (SR) sind Systeme, die nicht für die Bearbeitung von Werkstücken in der Industrie eingesetzt werden, sondern Dienstleistungen für den Menschen erbringen. Die Bedienung ist meist sehr einfach, spezielle Schulungen für den Anwender sind praktisch nicht erforderlich.

Typische Beispiele für SR sind:

- Staubsaugroboter
- Rasenmäherroboter
- Poolreinigungsroboter
- Überwachungsroboter
- Spielzeugroboter

2.3.4.3 Geländeroboter

Geländeroboter (GR) sind Robotertypen, die an Orten arbeiten, die für den Menschen nur sehr schwer bzw. nicht mehr zugänglich sind. Dabei können Sie vollautomatisch Aufgaben verrichten (siehe autonome Roboter) oder auch vom Menschen ferngesteuert werden.

Typische Beispiele für GR sind:

- Tiefseeroboter
- Roboter für den Einsatz im Weltraum
- Roboter für den Einsatz in Kernkraftwerken
- Kanalreinigungsroboter
- Roboter für die Obsternte (Orangen pflücken,...)

2.3.4.4 Autonome Roboter

Autonome Roboter (AR) sind Roboter, die sich, ohne vom Menschen gesteuert zu werden, selbstständig bewegen und agieren können. Vollständig autonom ist der Roboter dann, wenn er nicht mehr von einer stationären Energieversorgung abhängig ist (z.B. laden der Akkumulatoren durch am Roboter angebrachte Solarzellen).

Typische Beispiele für AR sind: [10]

- Laufmaschinen
- Fußballspieler

2.3.5 Kinematisches System

Die Kinematik beschäftigt sich mit der Geometrie und den zeitabhängigen Aspekten der Bewegung, ohne die Kräfte, die die Bewegung verursachen, in die Überlegungen mit einzubeziehen. Folgende Parameter spielen für die Kinematik eine wesentliche Rolle:

- Position
- Geschwindigkeit
- Beschleunigung
- Zeit

Die Kinematik legt die Beziehung zwischen der Lage des Effektors (z.B. Greifer) bezüglich der Roboterbasis und der Einstellung der Gelenkparameter fest. Die Parameter zur Beschreibung der Gelenke sind dabei Drehwinkel und Translationswege. [17]

Damit der Roboter jede gewünschte Position erreichen kann, muss er 6 Freiheitsgrade besitzen. Diese Freiheitsgrade sind im 1 Hauptsatz der Handhabetechnik beschrieben.

1. Hauptsatz der Handhabetechnik (Manipulation):

3 unabhängige Translationsbewegungen und Kräfte → Positionierung

3 unabhängige Rotationsbewegungen und Drehmomente → Orientierung

Sie sind jeweils in beiden Richtungen auszuführen bzw. an einem Körper auszuüben.

Der 2. Hauptsatz der Handhabetechnik sagt aus, dass jeder Freiheitsgrad durch mindestens eine unabhängige Bewegung (Achse⁸) des kinematischen Systems abgedeckt werden muss. [9]

2.3.5.1 Antriebe

Die Regelung von Achsen bzw. der Einbau von Antrieben bewirken die Fortbewegung und die Bewegung der Glieder des Roboterarms bzw. des Effektors. Durch den Antrieb wird die erforderliche Energie auf die Bewegungsachsen übertragen. Dabei muss er auch die Kräfte und Momente durch das Gewicht der Glieder des Roboters und der Objekte im Effektor kompensieren. Daher wird auch dann Energie benötigt, wenn der Roboter sich nicht bewegt.

⁸Achse: Sind für die Orientierung des Werkzeugs zuständig und bestehen daher in der Regel aus einer Reihe von Drehgelenken

Aktuell werden drei Arten von Antrieben verwendet:

- **pneumatisch**

- + Bewegung durch Energie aus komprimierter Luft
- + Billig, einfacher Aufbau, schnelle Reaktionszeit, auch in ungünstigen Umgebungen brauchbar
- Laut
- Nur Punkt-zu-Punkt-Betrieb
- Schlechte Positioniergenauigkeit
- Einsatz für kleinere Roboter mit schnellen Arbeitszyklen und wenig Kraft (z.B. Palettierung kleinerer Werkstücke)

- **hydraulisch**

- + Steuerbare Ventile
- + Sehr große Kräfte bei mittlerer Geschwindigkeit
- Laut
- Zusätzlicher Platz für Hydraulik und Öldruckpumpe nötig
- Ölverlust führt zu Verunreinigung
- Ölviskosität erlaubt keine guten Reaktionszeiten und keine hohen Positionier- oder Wiederholgenauigkeiten
- Einsatz für große Roboter (z.B. zum Schweißen)

- **elektrisch**

- Motoren [17]

2.3.5.2 Achstypen

Die Translationsachsen (Achsen 1-3, siehe Kapitel 2.3.5 Kinematisches System, 1 Hauptsatz der Handhabetechnik) werden Grundachsen oder Hauptachsen genannt. Lange Armglieder bringen dabei den Effektor in die gewünschte Position, um verschiedene Punkte im Raum erreichen zu können.

Die Rotationsachsen (Achsen 4-6) werden Handachsen bzw. Nebenachsen genannt. Es handelt sich dabei um kurze Armglieder, die den Effektor (z.B. Greifer) in die gewünschte Position bringen.

Besitzt ein Roboter weniger als 6 Achsen (3 Grundachsen, <3 Handachsen), hat der Roboter eingeschränkte Orientierungsmöglichkeiten. Bei mehr als 6 Achsen sind diese ab der 7 Achse redundant⁹, können aber aufgrund der höheren Bewegungsfreiheit in gewissen Anwendungsfällen nützlich sein. Diese sind in der Industrie aber eher die Ausnahme. Werden von diesen Robotersteuerungen optional externe Positioniereinrichtungen (Dreheinheit etc.) angesteuert, so nennt man dies externe Achsen. [10]

Die verschiedenen Kinematiken der IR lassen sich aus 3 Achstypen herstellen:

- **Linearachsen (auch Translatorische Achsen oder Schubachsen genannt)**
 - + Frei konfigurierbarer Arbeitsraum
 - + Beliebig erweiterbarer Arbeitsraum
 - + Günstige Kinematik für Handhabungs- und Palletieraufgaben
 - + Steife Gesamtkonstruktion durch mechanische Entkoppelung der Achsen
- **Rotatorische Achsen**
 - + Schnelle Bewegungen
 - + Kostengünstig für kleine Arbeitsräume
 - + Vorteilhafte Kinematik für Bearbeitungsaufgaben
- **Zwangsgekoppelte Achsen¹⁰**
 - + Kosteneinsparung
 - Reduzierung der Bewegungsfreiheiten

Häufig werden die Robotertypen nach ihren Grundachsen bezeichnet (Abb. 2.3.9) (R=Rotationsachse, T=Translationsachse).

- **Linear:** TTT
- **Hybrid:** RTT, RTR, TRR, RRT (Scara-Roboter, finden häufigen Einsatz bei Infineon)
- **Rotatorisch:** RRR (häufigster IR; Knickarm-Roboter)

⁹redundant: Zusätzliches Vorhandensein funktionaler Ressourcen eines technischen Systems

¹⁰Zwangsgekoppelte Achsen: Wenn bei einem Gelenkarmroboter bei der Bewegung einer Achse durch Verstreben die Winkelstellung einer anderen Achse verändert wird

Die Mehrzahl der Roboter hat einen Aufbau entsprechend der RRR-Kinematik, da Gelenkroboter bezüglich ihres Arbeitsraums den geringsten Platzbedarf benötigen.

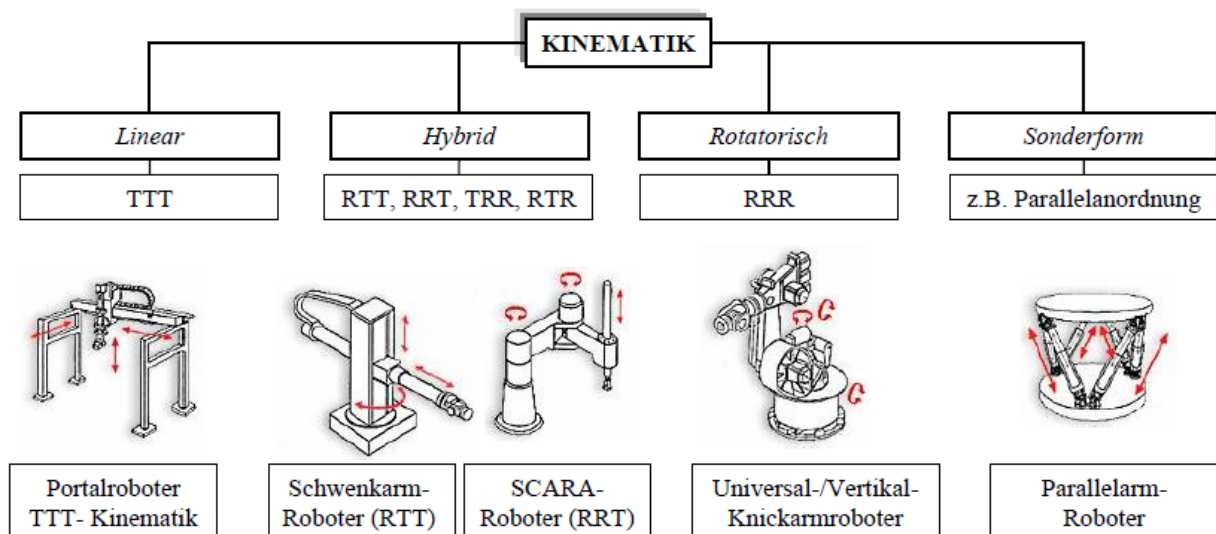


Abb. 2.3.9 Bauarten und Arbeitsräume von Industrierobotern [18]

2.3.6 Sensoren

Ein Robotersystem steht in enger Wechselbeziehung zu seiner Aufgabenstellung und seiner Umgebung. Durch das Verhalten eines Roboters ergibt sich damit auch seine Interaktion mit der Umgebung. Die Rohdaten der Arbeitsumgebung des Robotersystems liefern Sensoren. Die Steuerung und Auswertung der Sensordaten erfolgt mittels eines Rechners.

Die Sensoren haben folgende Funktionen:

- Erfassung der inneren Zustände des Roboters (Lage, Geschwindigkeit, Kräfte, Momente)
- Erfassen der Zustände der Handhabungsobjekte und der Umgebung
- Messen physikalischer Größen
- Identifikation und Zustandsbestimmung von Werkstücken und Wechselwirkungen
- Analyse von Situationen und Szenen der Umwelt

Man unterscheidet drei Hauptkategorien bei Sensoren:

- **Interne Sensoren** (messen die Zustandsgrößen des Roboters selbst)
 - Position und Orientierung des Roboters
 - Motorstrom
 - Stellung der Gelenke
 - Geschwindigkeit, mit der sich die Gelenke bewegen
 - Kräfte und Momente, die auf die Gelenke einwirken (Kraftsensoren, Positionssensoren)
- **Externe Sensoren** (erfassen die Eigenschaften der Umwelt des Roboters)
 - Licht, Wärme, Schall
 - Kollision mit Hindernissen
 - Entfernungen
 - Kontur von Objekten
 - Pixelbilder der Umwelt (Lichtsensoren, Kameras, Schallsensoren)
- **Oberflächensensoren**
 - Tastsensoren [17]

2.3.7 Steuerung und Programmierverfahren

Die Steuerung und die dazu notwendige Technik bilden mitunter das Hauptproblem beim Bau eines Robotersystems. Diese reagieren nämlich auf äußere Einflüsse, die sie mit Hilfe von Sensoren erkennen. Über Aktoren versucht das System dann einen zuvor gewollten Ablauf oder intendierte Handlung zu realisieren. Als Robotersteuerung bezeichnet man die Hard- und Software eines einzelnen Robotersystems.

Die Funktionen einer Robotersteuerung sind:

- Entgegennahme und Abarbeitung von Roboterbefehlen oder Roboterprogrammen
- Steuerung und Überwachung von Bewegungs- bzw. Handhabungssequenzen und Handlungsaufträgen
- Synchronisation und Anpassung des Manipulators an den Handhabungsprozess
- Vermeidung bzw. Auflösung von Konfliktsituationen

Ein Robotersystem muss frei programmierbar sein. Für die Programmierung eines Roboters kann man zunächst zwischen Online und Offline Methoden unterscheiden. [17]

2.3.7.1 Online-Programmierung

Bei den Online Methoden wird der Roboter zur Programmierung benötigt. Die Vorteile sind, dass sie relativ einfach zu programmieren sind, man eine Sofortkontrolle der programmierten Schritte hat und dass der Arbeitsraum und das Objekt nicht vermessen werden müssen. Die Nachteile sind dass der Roboter während des Programmierens keine Arbeit verrichten kann und dass die Programmierarbeiten, je umfangreicher das Programm ist, umso aufwendiger werden.

Beim Teach-In Verfahren bewegt der Programmierer den Roboter mit einer Bedieneinheit in die gewünschte Position. Die Koordinaten dieses Ablaufs werden als Punkte in der Steuerung durch Betätigung einer Funktionstaste gespeichert. Danach kann der Roboter alle gespeicherten Punkte autonom anfahren. Parameter wie Geschwindigkeit und Beschleunigung können vom Programmierer eingegeben werden.

- **Direktes Teach In:** Führung des Werkzeugs (TCP) per Hand und ohne Antriebe (Playback-Verfahren)
- **Indirektes Teach In:** Bewegen des TCP nur mit eigenen Antrieben

2.3.7.2 Offline Programmierung

Bei den Offline-Methoden wird das Roboterprogramm ohne Benutzung des Roboters erstellt. Der Roboter kann während der Programmierung arbeiten, eventuelle Änderungen am Programm sind leicht durchführbar. Außerdem ist das Testen der geschriebenen Programme durch Simulation möglich. Negativ sind die aufwändige Einarbeitung in die oft komplexen Programmiersysteme sowie der hohe Speicherbedarf.

Bei der Offline Programmierung unterscheidet man zw. textueller Programmierung und CAD-gestützter Programmierung. Bei der textuellen Programmierung muss ein Programm am Computer („Offline“) geschrieben und an den IR gesendet werden.

Bei der CAD gestützte Programmierung wird der Roboter am PC auf der Basis von Konstruktionszeichnungen programmiert. Der Bewegungsablauf wird dreidimensional dargestellt. Der Roboter und sein Werkzeug sind in diesen Bewegungsablauf integriert.

2.3.7.3 Gemischte Programmierung (Online – Offline Programmierung)

Die Vorteile beider Verfahren werden genutzt. Das Roboterprogramm wird in einer ersten Testphase simuliert und Kollisionen somit erkannt. Ist das Programm fehlerfrei, wird in einer weiteren Testphase der Roboter in der realen Umgebung verwendet.

Oft wird in der Praxis ein gemischtes Verfahren bei der Roboterprogrammierung bevorzugt. Durch das Teach-In werden die Weltkoordinaten in Roboterkoordinaten übersetzt. Das Verfahren des Roboters geschieht hierbei durch Handsteuerung und nicht in realer Geschwindigkeit. Diese Handsteuerungen haben im Paneel eine gewisse Anzahl von Befehlen, z.B. „Punkt speichern“, „lineares Verfahren zum nächsten Punkt“, „Werkzeugtätigkeit“, usw. Daneben steht der dadurch entstandene Programmtext auch auf einem Display oder einem Bildschirm zur Verfügung kann dort im Rahmen des Editors des Programmiersystems noch weiter ergänzt werden. Auf diese Weise können komplizierte Logistikabläufe im Programm entwickelt und unter Umständen in der Simulation getestet werden. [19]

2.3.7.4 Arten der Bahnprogrammierung

Mit „Bahn“ ist eine Strecke gemeint, die einen Anfangspunkt sowie einen Zielpunkt besitzt. Der Endeffektor eines Roboters bewegt sich also, ausgehend von einem Startpunkt (oder Anfangsposition) zu einem Endpunkt (Zielposition).

Außer dem Start- und dem Zielpunkt können auch weitere Punkte (Zwischenpunkte) vorgegeben werden.

Die verschiedenen Möglichkeiten der Bahnprogrammierung sind:

- **Linearsteuerung**
 - zwischen zwei programmierten Punkten fährt der Roboter eine Gerade
- **PTP (point to point)** Abb. 2.3.10 a)
 - vorgegeben sind Start- und Zielpunkt der Bewegung
 - die Bahn ist jedes Mal verschieden
 - Typische Anwendungen: Punktschweißen, Handhabung („pick and place“)
- **CP (continuous path)** Abb. 2.3.10 b)
 - Bahn ist in jedem Punkt definiert
 - Angabe von Bewegungsgrößen (raum- und zeitgenaue Bewegung)
 - Typische Anwendungen: Spritzlackieren, Beschichten, Ausschäumen
- **CIRC (circular)** Abb. 2.3.10 c)
 - Bahn ist in jedem Punkt definiert
 - Kreis durch 3 Punkte (räumlich)
 - Vorgabe: Startpunkt, Hilfspunkt, Zielpunkt
 - Typische Anwendungen: Laserschneiden, Montagearbeiten, Lichtbogenhandschweißen, Spritzlackieren

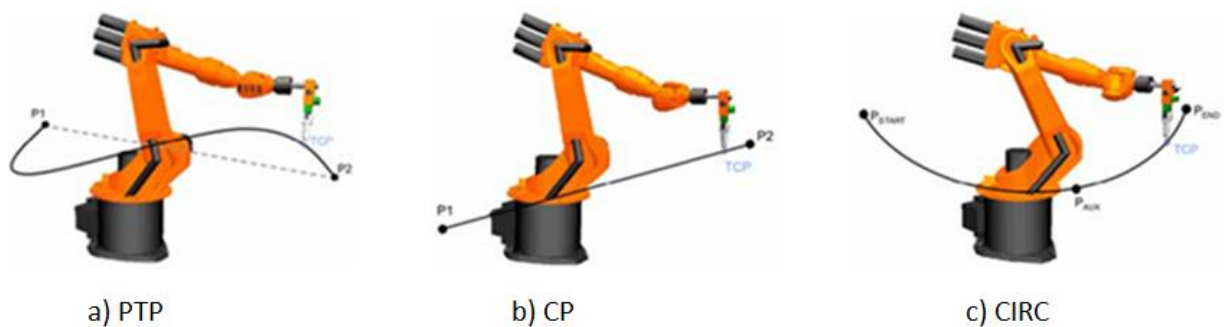


Abb. 2.3.10 Möglichkeiten der Bahnprogrammierung [9]

2.3.7.5 Überschleifen

Beim Überschleifen werden die Positionen nicht genau angefahren. Die „Eckpunkte“ werden „abgerundet“. Dadurch wird der Roboter nicht abgebremst und Zeit gespart (Abb. 2.3.11).

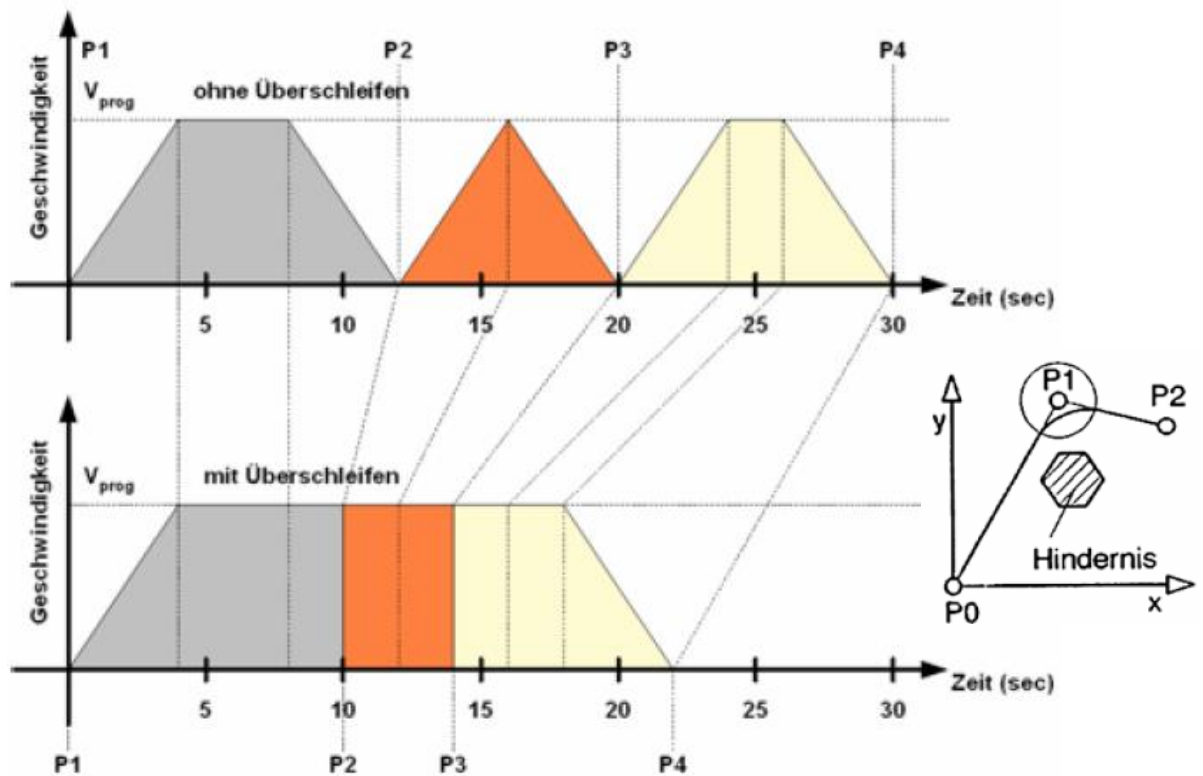


Abb. 2.3.11 Zeitprofil ohne/mit Überschleifen [9]

2.3.8 Arbeitsraum eines Industrieroboters

Als Arbeitsraum wird in der Robotertechnik der Raum bezeichnet, den der Endeffektor mit der Gesamtheit aller Achsbewegungen erreichen kann. Dabei ist dieser Abhängig vom Aufbau der Grundachsen des Roboters (Abb. 2.3.12 - Abb. 2.3.15).

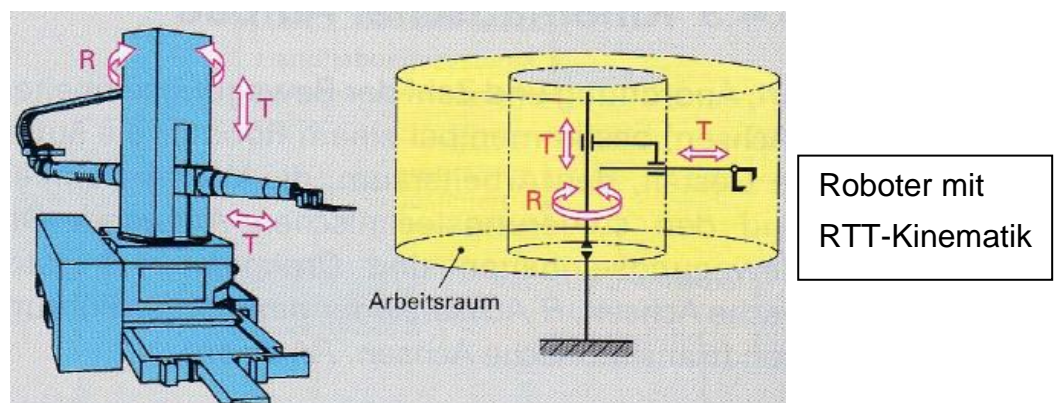
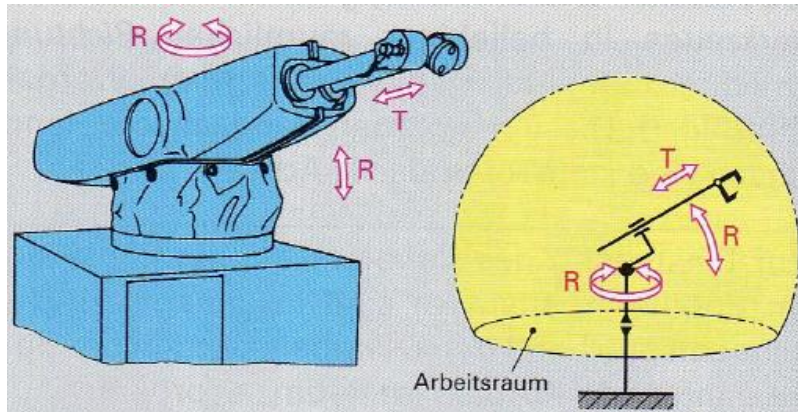


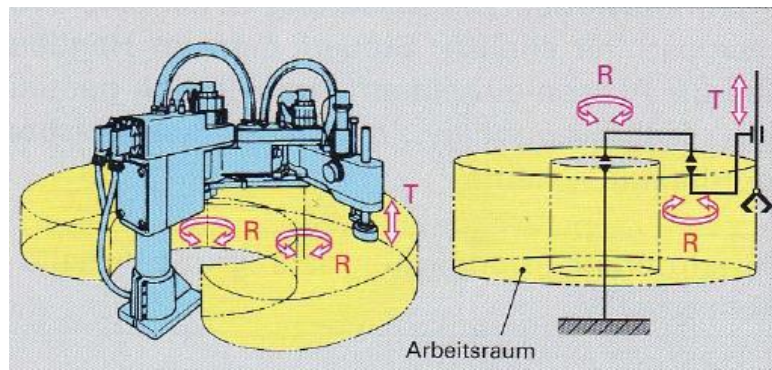
Abb. 2.3.12 Zylinderförmiger Arbeitsraum in Polarkoordinaten [18]



Roboter mit
RRT-Kinematik

Abb. 2.3.13 Halbkugelförmiger Arbeitsraum in Kugelkoordinaten

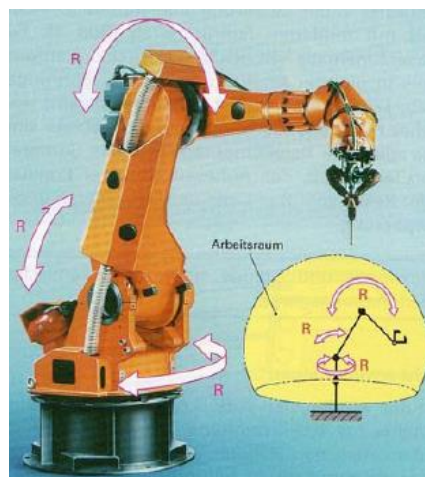
[18]



Roboter mit
RRT-Kinematik

Abb. 2.3.14 Zylinderförmiger Arbeitsraum bei einem SCARA Roboter

[18]



Roboter mit
RRR-Kinematik

Abb. 2.3.15 Halbkugelförmiger Arbeitsraum

[18]

2.3.9 Robotersicherheit

Roboterarme verfügen bei ihrer Bewegung über hohe Kräfte und Anfahrtsmomente. Die Achsbewegungen sind unvorhersehbar und komplex. Kollisionen des Roboterarms mit dem Menschen kann zu schweren bis sogar zu tödlichen Verletzungen führen. Daher wurde eine spezielle roboterspezifische Norm veröffentlicht (EN ISO 10218-1:2006).

Vorschriften zur Sicherheit dienen dem Schutz von Personen und Einrichtungen und müssen unbedingt eingehalten werden. Mit abnehmender Priorität müssen folgende Maßnahmen betrachtet werden:

- Beseitigung der Gefahr
- Entfernung der Personen
- Abschirmung der Gefahr
- Schutz der Person
- Verhaltensregeln

[11]

2.3.9.1 Arbeitssicherheit in Roboterzellen

Eine Lösungsvariante zur Vermeidung, dass Mensch-Roboterkollisionen zustande kommen können, ist Mithilfe von optischen Schutzeinrichtungen wie z.B. Lichtgittern (Abb. 2.3.16) oder Schutztoren. Wird das Lichtgitter unterbrochen, so wird auch der Bewegungsablauf des IR sofort unterbrochen. Somit wird gewährleistet, dass es zu keiner Roboter-Mensch-Kollision kommen kann.

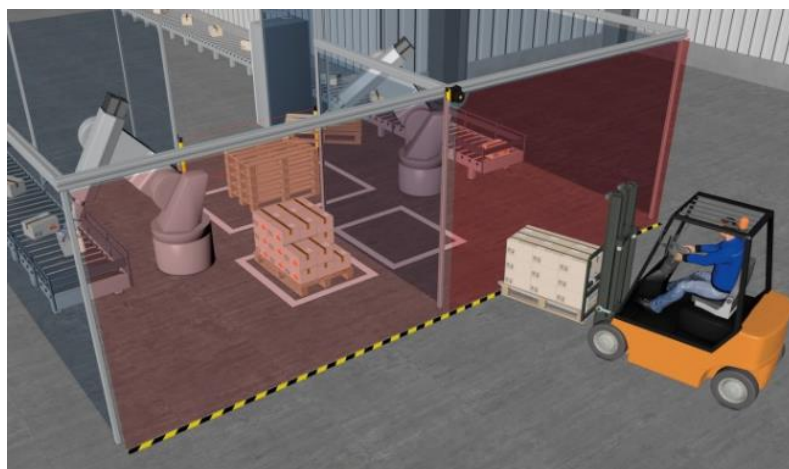


Abb. 2.3.16 Sicherheitslichtgitter [20]

Die bei Infineon eingesetzten Robotertypen müssen nicht nur nach den europäischen Sicherheitsnormen geprüft sein, sondern auch den geltenden Reinraumklassen nach DIN EN ISO 14664-1 (Tabelle 2.1) entsprechen. Die Reinraumklassen bei Infineon liegen, je nach Anforderung, zw. ISO 3 und ISO 5.

	Grenzwerte (Partikel je m ³) für Partikel gleich oder größer als ...					
ISO Klasse	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
ISO 1	10	2	-	-	-	-
ISO 2	100	24	10	4	-	-
ISO 3	1.000	237	102	35	8	-
ISO 4	10.000	2.370	1.020	352	83	-
ISO 5	100.000	23.700	10.200	3.520	832	29
ISO 6	1.000.000	237.000	102.000	35.200	8.320	293
ISO 7	-	-	-	352.000	83.200	2.930
ISO 8	-	-	-	3.520.000	832.000	29.300
ISO 9	-	-	-	35.200.000	8.320.000	293.000

Tabelle 2.1 Reinraumklassen nach DIN EN ISO 14664-1

Zum Vergleich:

1m³ Luft neben einem Raucher enthält bis zu 100.000.000 Partikel > 0,5µm

1m³ Stadtluft (Zone Tempo 30) enthält bis zu 500.000 Partikel > 0,5µm

1m³ Luft am Nordpol enthält bis zu 10.000 Partikel > 0,5µm. [21]

2.3.9.2 Kollisionssicherheit

Nicht nur die Sicherheit Roboter-Mensch ist zu beachten, sondern auch, beim Einsatz von mehreren IR, dass die Roboterarme in Bewegung nicht miteinander kollidieren (Abb. 2.3.17). Deshalb ist es hierbei unerlässlich, die Bewegungsbahnen aller eingesetzten Roboter zu überprüfen, auszuwerten und Kollisionsbereiche zu vermeiden. [9]

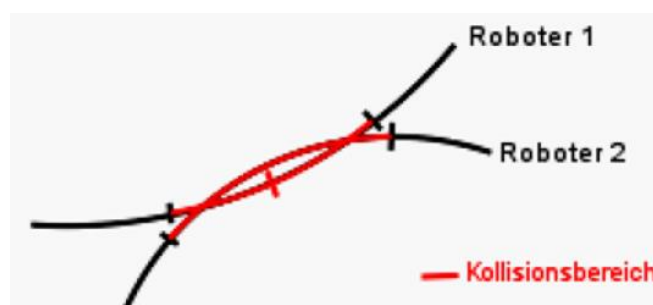


Abb. 2.3.17 Roboter-Kollisionsbereiche (rot)

Wurden, wie in Abb. 2.3.17, Kollisionen zwischen zwei Robotern festgestellt, so muss man durch das Setzen von Verriegelungspunkten vermeiden, dass es zu Roboterkontakten innerhalb dieser kollisionsbehafteten Roboterbahnen kommen kann (Abb. 2.3.18).

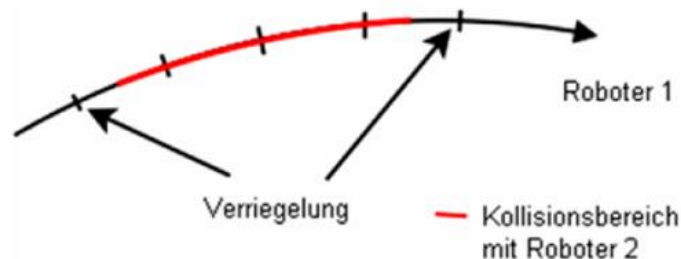


Abb. 2.3.18 Verriegelungspunkte zur Kollisionsvermeidung

2.4 Greifersysteme für das Handling von Wafer

Laut VDI Richtlinie 2740 ist die Hauptaufgabe eines Greifers das Herstellen, Aufrechterhalten und Lösen der Verbindung zwischen dem Greifobjekt und dem Handhabungsgerät (VDI 2740 Blatt 1, S.3). Dabei erfolgt die Klassifizierung der Greifverfahren nach den fünf unterschiedlichen Greifprinzipien:

- Haftung durch Magnetismus
- Haftung durch Oberflächenverhakung
- Haftung durch Ansaugen
- Direktes pneumatisches oder hydraulisches Spannen
- Mechanisches Greifen

Die Handhabung der Wafer durch Greifer wird durch drei Eckpunkte definiert:

- Zeit (hoher Durchsatz, seltene Wartung, einfache und schnelle Inbetriebnahme)
- Kosten (Anschaffung, Betriebskosten)
- Qualität (sichere, saubere, schonende und positionsgenaue Handhabung)

Vor allem bei Dünnwafer (Dicke $< 220\mu\text{m}$) muss darauf geachtet werden, dass sie durch das Handling mittels Greifer am IR nicht beschädigt werden. Schäden im Wafer, die nicht sofort erkannt werden (z.B. Mikrorisse), können im weiteren Prozessablauf zum Ausfall bis hin zum Bruch des Wafers führen.

Technologische Anforderungen an Greifer sind:

- Vermeidung der Teilebeschädigung
- Unabhängigkeit vom Substrat
- Ausgleich geometrischer Schwankungen und Formlabilität
- Sichere Aufnahme und Ablösung vom Greifer
- Reinraumtauglichkeit
- Hoher Durchsatz / kurze Taktzeit
- Kompatibilität zu bestehender Ausrüstung
- Kenntnis der Korrelation der Steuergrößen und der Kraftwirkung
- Implementierbarkeit des Konzepts

Wirtschaftliche Anforderungen an Greifer sind:

- Die über den zu erwartenden Einsatzzeitraum summierten Kosteneinsparungen müssen die Investitionen mindestens erreichen oder überwiegen
- Bei den laufenden Kosten sind die Aufwendungen für den Energieeinsatz zu berücksichtigen [22]

Wirkprinzip	Mechanisch	Pneumatisch	Pneumostatisch /-dynamisch	Elektrisch	Adhäsiv
					
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> • Zangengreifer • Klemmgreifer • Gelenkfingergreifer • Umfassungsgreifer • Aufwälggreifer • Verhakende Greifer 	<ul style="list-style-type: none"> • Überdruckgreifer (Loch-, Zapfen-, Schrumpfring-, Luftstrahl-, Membrangreifer, Beugefinger) 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterdruckgreifer (Vakuumsauger, Flächensauggreifer, Haftsauger, Bernoulli-Greifer) 	<ul style="list-style-type: none"> • Magnetgreifer (Permanent-, Elektromagnet-, Permanent-Elektromagnetgreifer) • Elektrostatische Greifer 	<ul style="list-style-type: none"> • Kapillargreifer • Gefriergreifer • Klebstoffgreifer
Charakteristika	<ul style="list-style-type: none"> • Kraft- und Formschluss möglich • Großes Hub- und Greifkraftspektrum • Pneumatisch, hydraulisch und elektrisch angetrieben 	<ul style="list-style-type: none"> • Kraft- und Formschluss möglich • Besonders für empfindliche oder poröse Oberflächen geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> • Reiner Kraftschluss • Viele Bauformen erhältlich • Großes Greifkraftspektrum (gilt nicht für Bernoulli-Greifer) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reiner Kraftschluss • Magnet-G.: Nur für ferromagnet. Materialien • Elektrostat.-G.: Nur kleine Greifkräfte möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Reiner Kraftschluss • Einsatzbereiche: Textilien, leichte und poröse Materialien, Flüssigkeiten

Abb. 2.4.1 Klassifizierung industrieller Greifer

[23]

2.4.1 Mechanische Greifer

Mechanische Greifer (Abb. 2.4.2) heben Wafer durch direkten Kontakt des Greifers mit der Halbleiterscheibe. Deshalb können mechanische Greifer sehr dünn gebaut sein, was das Handeln von Wafern in der Horde sehr erleichtert. Die Greifer können pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch angetrieben werden. Allerdings können mechanische Greifer nicht für alle Wafer verwendet werden, da diese durch Form- bzw. Kraftschluss gehalten werden. Dadurch kann es sehr schnell zu Verunreinigungen und Beschädigungen des Wafers kommen.

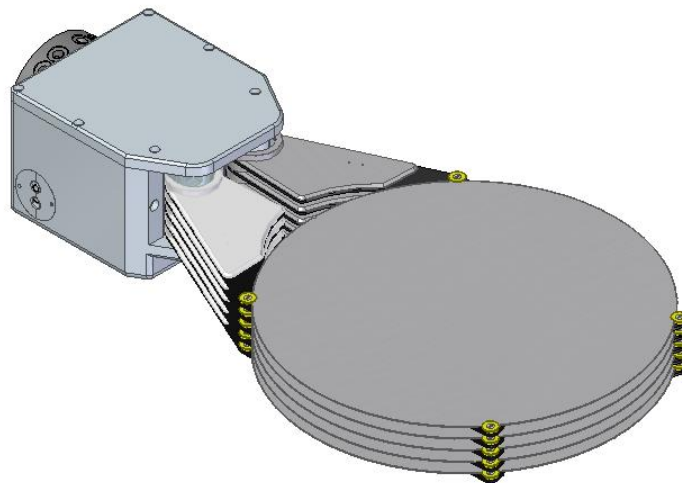


Abb. 2.4.2 Fünffach 12" Scherengreifer

Copyright © Infineon Technologies

2.4.2 Pneumatische Greifer

Bei pneumatischen Greifern wird der Wafer durch Druckluft (Bernoulli Greifer) bzw. durch das Absaugen der Luft (Vakuum-Greifer) gehalten.

2.4.3 Bernoulli Greifer

Benannt ist der Bernoulli Greifer nach dem Schweizer Mathematiker Daniel Bernoulli (1700-1782). Er fand heraus, dass der Druck¹¹ in einem fließenden Fluid umso mehr abnimmt, je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist, da die Gesamtenergie über den ganzen Strömungsweg konstant bleibt (Energieerhaltung). Daraus resultiert, dass bei einer höheren Strömungsgeschwindigkeit ein geringerer Druck herrscht.

¹¹Druck: die Kraft, die auf eine Fläche wirkt, $p = \frac{F}{A}$ [N/mm²]

Die entstandene Druckdifferenz kann man beispielsweise für das berührungslose Heben von Teilen nutzen, da der statische Druck an der bestrahlten Oberfläche abnimmt. Durch den dadurch höheren Umgebungsdruck drückt es den Körper an den Strahl. Dieses physikalische Phänomen wird als Anströmparadoxon bezeichnet, da sich zwischen dem umstrahlten Objekt und dem Greifer ein Luftspalt bildet. Vorteil dieses Prinzips ist, dass es zu keinem Kontakt zwischen dem Greifer und dem zu hebendem Objekt kommt. In der Abb. 2.4.3 ist das Prinzip eines Bernoulli Greifers abgebildet. Der Speisedruck dieser Greifer liegt im Bereich von 1 bis 7 bar. Durch den Aufbau des Greifers ist dieser lebensmitteltauglich und kann beispielsweise schokoladeüberzogene Kekse erfassen und transportieren, ohne dass Spuren auf der Oberfläche des Kekses zurückbleiben. Diese Funktion ist unabhängig von der Oberfläche und auch in Flüssigkeiten gegeben. Da keine beweglichen Teile im Spiel sind, ist der Bernoulli Greifer wartungsfrei. Die Haltekräfte sind allerdings nicht sehr hoch (0.9 bis 6 Newton), abhängig vom anliegenden Druck und vom Durchmesser des zu haltenden Objektes. Mit diesen sogenannten „Schwebesauger“ lassen sich außerdem nur langsame Taktraten realisieren und die Positionierung ist relativ unpräzise. [24]

Bernoulli Greifer ohne weitere Haltesysteme werden für das Waferhandling bei Infineon nicht eingesetzt, da der Wafer auf der (Luft)Oberfläche ohne zusätzliche Haltevorrichtungen nicht fixiert werden kann.

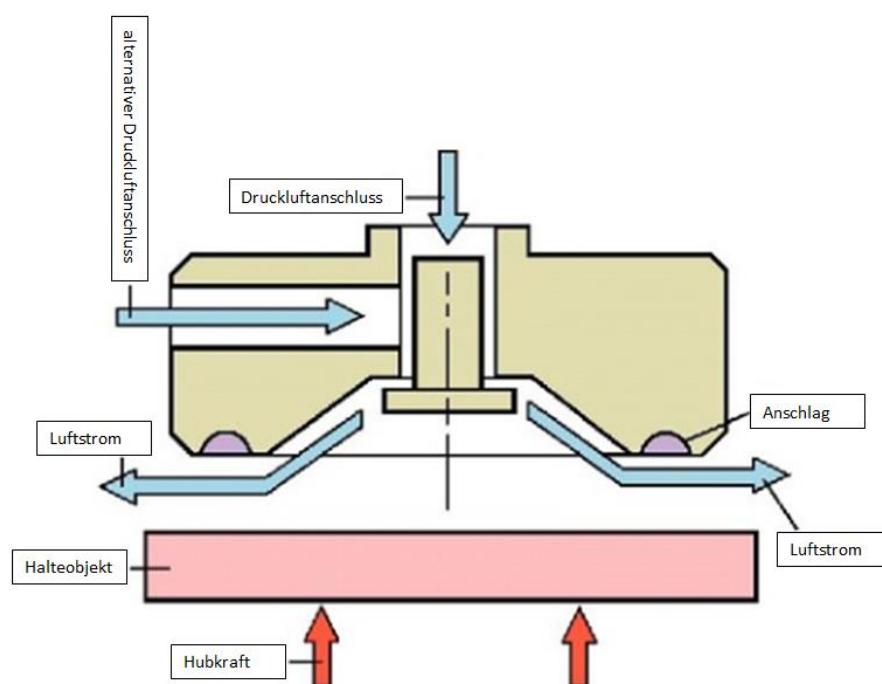


Abb. 2.4.3 Bernoulli Greifer [24]

2.4.4 Vakuum¹² Greifer

Vakuum Greifer (auch Sauggreifer genannt) gehören zu den kraftschlüssigen Greifern. Sie sind unkompliziert aufgebaut, kostengünstig und einfach anzuwenden, verursachen jedoch chemische Verunreinigungen auf den empfindlichen Kontaktflächen und starke mechanische Belastungen bei der Bewegung und beim Halten von dünnen Bauteilen. [25]

2.4.5 Kombination aus Bernoulli und Vakuumgreifer

Der Trend zur immer weiteren Ausdünnung von Halbleiterscheiben bis in den Bereich unter 50µm verändert deren mechanischen Eigenschaften. Dabei geht das starre in formlabiles Verhalten über, jedoch mit abnehmender Bruchfestigkeit. Zusätzlich führen innere Spannungen und die unterschiedlichsten Ausdehnungskoeffizienten von Substratmaterial und aufgetragenen Beschichtungen zu Verformungen, die mit der Kontur von Kuppel- oder Sattelflächen vergleichbar sind. Beim Greifen müssen diese, ebenso wie in den meisten Prozessstufen, gerade gebogen bzw. formstabil gehalten werden. Der Bernoulli-Effekt unterstützt das Glätten der Wafer, das Vakuum sorgt für das feste Spannen. Durchbiegungen von bis zu 10mm können so ausgeglichen werden. Der Nachteil dieser Kombination ist, dass der Greifer nicht mehr berührungslos arbeitet wie der „reine“ Bernoulli-Greifer, sondern durch den Einsatz des Vakuums zum berührenden Greifer wird. [22]

¹²Vakuum: Darunter versteht man einen Zustand, bei dem der Druck oder die Dichte kleiner ist als bei der umgebenden Atmosphäre. Da der Atmosphärendruck über der Erdoberfläche nicht konstant ist und mit der Höhe über dem Meeresspiegel abnimmt, kann bezüglich des Druckes keine allgemeine Obergrenze für den Vakuumbereich angegeben werden

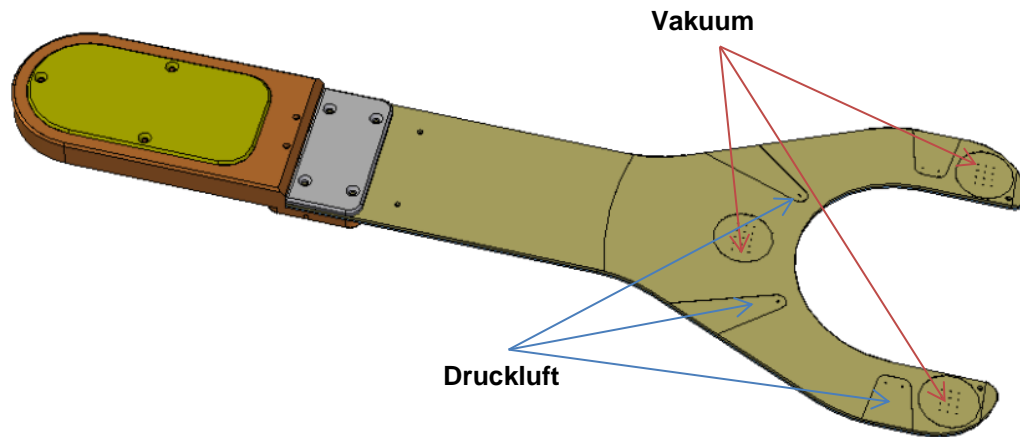


Abb. 2.4.4 Kombiniertes Greifer

Copyright © Infineon Technologies

Im Beispiel in Abb. 2.4.4 liegt der Wafer an drei Punkten am Greifer auf und wird an diesen Punkten durch ein Vakuum gehalten. Durch die ebenfalls auf den Greifer enthaltenen und um 30° schräg gebohrten Löcher, durch die Druckluft ausströmt, wird der Greifer geglättet (Bernoulli Effekt).

2.4.6 Elektrostatische Greifer

Eine Spannung wird an den Wafer und eine entgegengesetzte Spannung an den Greifer angelegt. Aufgrund der elektrostatischen Anziehungskraft kann der Wafer dann angehoben und bewegt werden. Nachteilig an diesem Prinzip ist, dass der Wafer zur Anlegung der Spannung elektrisch leitend sein muss. Zum Greifen von nicht leitenden (dielektrischen) Wafers gibt es elektrostatische Greifer, die nebeneinander angeordnete Elektroden aufweisen. Um den Wafer zu heben, wird eine entgegengesetzte Spannung an der nebeneinander liegenden, entgegengesetzt gepolten Elektrode gelegt. Die Elektroden haben jetzt eine andere Ladung als das zu hebende Bauteil, was zu elektrostatischer Anziehung führt. Infolge dieser Kraft bleibt der Wafer am Greifer hängen und kann dann bewegt werden. Um das Bauteil wieder abzusetzen, werden die Elektroden geerdet. Durch Spannungsdifferenzen, die von der Leitfähigkeit des Wafers und der Höhe der Spannung abhängen, kommt es zu einem Stromfluss, der den Wafer erwärmt. Infolge dieser Erwärmung kann es zum Verziehen bzw. zu Beschädigungen des Wafers kommen. Dieses Problem besteht infolge der fehlenden Konvektion¹³ besonders im Vakuum. Neuere Entwicklungen reduzieren die Erwärmung des Wafers durch den Einsatz von niedrigeren Spannungen. [26]

¹³Konvektion: Strömungsbewegung in Gasen oder in Flüssigkeiten

2.4.7 Adhäsive Greifer

Unter dem übergeordneten Begriff Adhäsiv¹⁴ sind in der einschlägigen Fachliteratur sowohl adhäsive als auch kapillare Greifer zu finden.

Adhäsive Greifer halten das Greifobjekt im Wesentlichen durch die klebrige Wirkung eines zwischen dem Bauteil und dem Greifer befindlichen adhäsiven Trägermediums. Dieses Medium kann ein hochviskoses Fluid sein bzw. ein Fluid, welches während des Greifprozesses vollständig verfestigt (stoffschlüssiger Greifer, Abb. 2.4.5). Zwar kann es bei adhäsiven Greifern prinzipiell auch zur Ausbildung eines kapillaren Unterdrucks kommen, dieser trägt aber keinen besonders hohen Anteil zu den Greifkräften bei.

Bei kapillaren Greifern hingegen wird der kapillare Unterdruck genutzt, der in einem mit Flüssigkeit gefüllten Spalt entsteht. Kapillare Greifer halten ihre Objekte vorwiegend aufgrund des kapillaren Unterdrucks bei niedrigviskosen Flüssigkeiten. Der Unterdruck entsteht durch die nach innen gerichtete Krümmung des Flüssigkeitsmeniskus zwischen Bauteil und Greiffläche. Für das Handling von Wafer werden adhäsive Greifer kaum eingesetzt, da bei jedem Greifvorgang ein Teil des Adhäsives auf der Bauteiloberfläche zurück bleibt. [27]

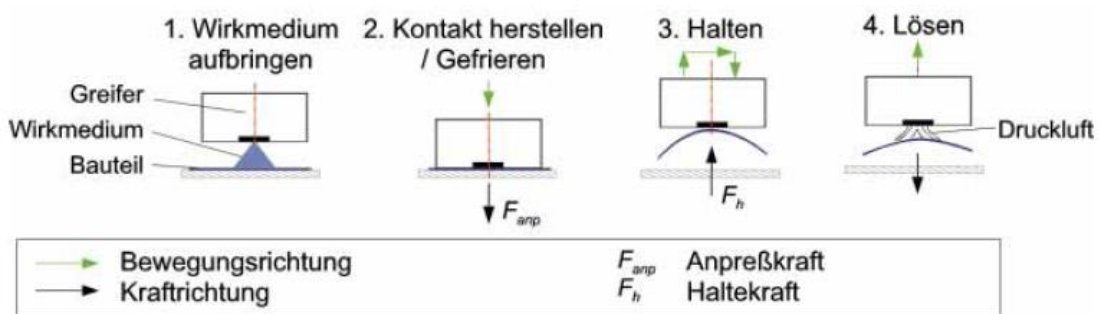


Abb. 2.4.5 Funktionsweise eines Gefriergreifers [28]

¹⁴Adhäsiv: haftend

3 Roboter bei Infineon

Eine Halbleiterproduktion ohne Roboter ist kaum noch vorstellbar. So ist es auch bei Infineon, wo viele Systeme von verschiedenen Herstellern eingesetzt werden. Da nicht alle der zu testenden Robotertypen für die CAD-Abnahme verfügbar sind, da sie in der Produktion eingesetzt werden, sind nachfolgend die Wichtigsten zu testenden Robotertypen aufgelistet.

Der Roboterprüfstand ist so konstruiert, dass dieser für unterschiedliche Robotertypen und Größen zum Testen verwendet werden kann. Die Roboter werden dabei auf einer „RoboterMontageplatte“ montiert und mithilfe eines fahrbaren Montagewagens zum Roboterprüfstand geführt. Zur Übergabe kann die Montageplatte mitsamt Roboter an den Roboterprüfstand geschoben werden.

Alle angeführten Roboter werden für die Waferbewegung in den Reinräumen eingesetzt. Manche Systeme arbeiten in einer Vakuumumgebung.

3.1 Brooks

3.1.1 Brooks Automation Z-Bot II

Der Z-Bot II (Abb. 3.1.1) der Firma Brooks Automation ist ein Scara¹⁵-Typ und verfügt über 3 verstellbare Achsen. Außerdem kann er sich um 360° drehen. Mit ihm können Wafer in den Größen von 3 Zoll bis 8 Zoll bewegt werden. Der Z-Bot II ist Reinraumkompatible mit der Reinraumklasse 1 (siehe Tabelle 2.1, S.28).

¹⁵SCARA: **S**elective **C**ompliance **A**ssembly **R**obot **A**rm, wird auch als „horizontaler Gelenkarmroboter“ bezeichnet



Abb. 3.1.1 Brooks Z-Bot II [29]

Der Z-Bot II kann fünf Arbeitsplätze bedienen und bis zu zehn Horden (Abb. 3.1.2).

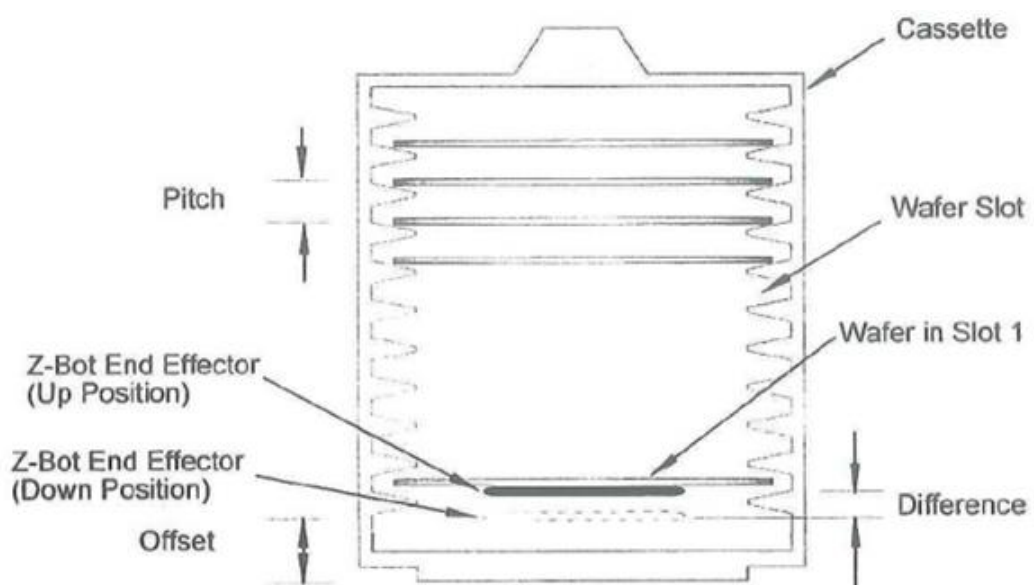


Abb. 3.1.2 Horde [29]

Am Greifer des Z-Bot II ist eine Vakuumaufnahme installiert, die den Wafer sicher fixiert und gewährleistet, dass der Wafer während der Transportbewegung nicht verrutschen kann. [29]

3.1.2 Brooks Automation Atmospheric Single-Arm Robot

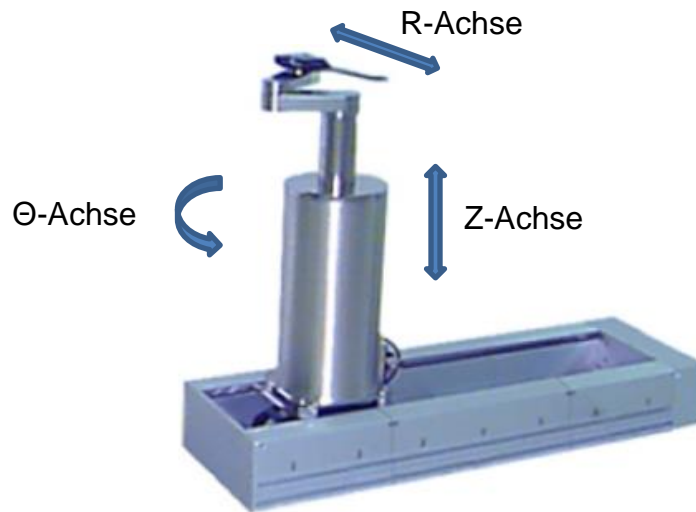


Abb. 3.1.3 Brooks Automation Atmospheric Single Arm Robot

[30]

Mit dem Atmospheric Single-Arm Roboter (Abb. 3.1.3) kann man Wafer in den Größen von 3 Zoll bis 12 Zoll sicher bewegen. Die Roboter werden mit Armlängen von 4,25 Zoll (~108mm) bis 14,75 Zoll (~375mm) geliefert und wiegen zwischen 35 pounds (~15,9kg) und 85 pounds (~38,6kg). Die Betriebstemperatur dieser Roboter liegt zw. 59°F bis 89°F (15°C bis 32.5°C). Die Roboter werden mit einer Betriebsspannung von 100/120 V AC (5 A) bzw. 22/240V (2,5A) betrieben und sind für die „Top-Mount“ (Montage von oben) oder für die „Bottom-Mount“ (Bodenmontage) erhältlich (Abb. 3.1.4). Der Single-Arm Roboter kann sich in 3 Achsen bewegen. Für die Rotationsachse wird ein „Harmonic Drive“ Getriebe verwendet [30]. Für einen erweiterten Arbeitsbereich kann das System auf eine angetriebene Querachse montiert werden.

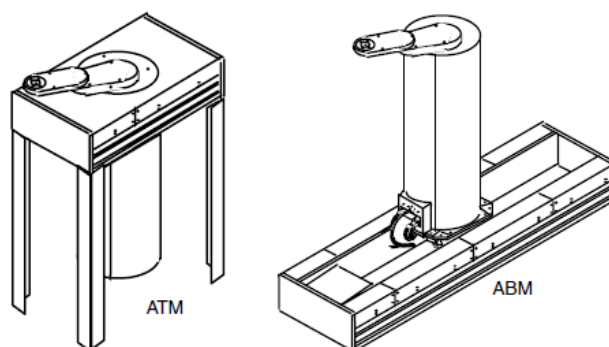


Abb. 3.1.4 Robotereinbaumöglichkeiten: Top-Mount / Bottom-Mount

[30]

3.1.3 Brooks Automation MagnaTran 7

Der MagnaTran 7 (Abb. 3.1.5) ist ein 3-Achsen Roboter (R - Radial, T - Rotation, Z - Vertikal) mit einer Plaziergenauigkeit von 0,1mm in horizontaler Richtung, und wird für „pick and place“ Tätigkeiten eingesetzt (Waferbewegung). Die mit diesem Roboter transportierten Wafer werden durch Vakuumgreifer während der Bewegung fixiert. [31]

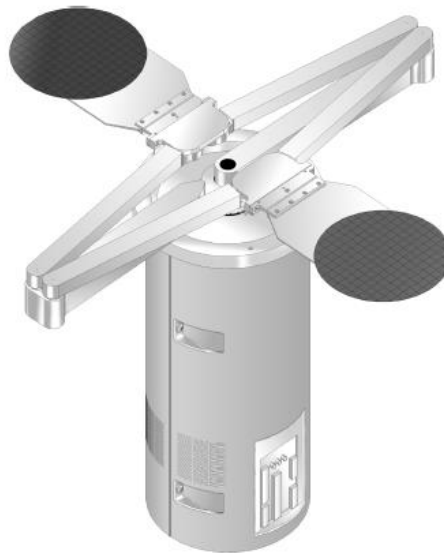


Abb. 3.1.5 Brooks Automation MagnaTran 7

[31]

Der Roboter arbeitet sehr zuverlässig und mit einer sehr geringen Ausfallsquote. Bei Infineon Technologies ist dieser Roboter 365 Tage im Jahr, 24 Stunden pro Tag im Betrieb. Trotzdem tritt im Schnitt nur etwa alle 10 Jahre ein Fehler auf (Encoder defekt).

3.2 Genmark Gencobot

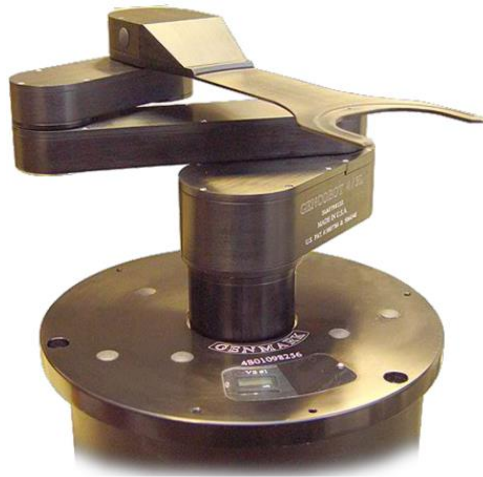
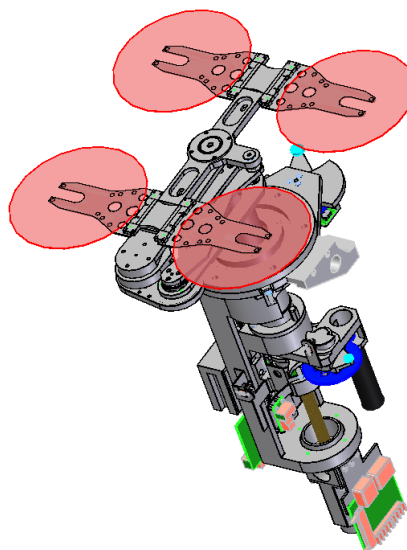


Abb. 3.2.1 Genmark Gencobot [32]

Der Genmark Gencobot (Abb. 3.2.1) entspricht im Aufbau dem klassischen Scara-Roboter. Je nach Ausführung kann der Roboter über weitere Achsen verfügen (z.B. Z1 bis Z3, um den Greifer in z-Richtung „schräg“ stellen zu können).

3.3 Mattson

Der Roboter der Fa. Mattson ist auf Scara Basis aufgebaut. Die Ausfahrt des TCP ist aufgrund der Mechanik des Roboters nur in den Winkelstellungen 90°, 180°, 270°, 360° möglich. Es können bis zu 4 Wafer gleichzeitig mit diesem Roboter bewegt werden.



3.4 Fehlerbewertung der eingesetzten Roboter

In den nächsten Seiten erfolgt eine Auflistung der bei Infineon Technologies eingesetzten Roboter inkl. der am häufigsten vorkommenden Fehler einschließlich der erforderlichen Reparaturmaßen (Tabelle 3.1 bis Tabelle 3.6). Viele Fehler werden direkt bei Infineon in der firmeneigenen Werkstatt repariert (Infineon Maintenance). Wenn die Reparatur in der Werkstatt nicht möglich ist, werden diese vom Anlagenhersteller oder direkt vom Roboterhersteller beseitigt.

Anlage: Mattson Aspen II			
Roboter: Mattson			
Fehler Nummer:	Beschreibung	MTTF¹⁶ [h]	Reparaturmaßnahmen
Fehler 1	Motorbremse defekt	~6.600	Motorbremse austauschen (Infineon Maintenance)
Fehler 2	Stellmotoren defekt	~13.000	Stellmotoren austauschen (Infineon Maintenance)
Fehler 3	Lagerschaden Robotermechanik	~13.000	Lager austauschen (Infineon Maintenance)
Fehler 4	Lagerschaden Roboterarm	~6.600	Lager austauschen (Infineon Maintenance)

Tabelle 3.1 Fehlerbewertung der Anlage Mattson Aspen II

Anlage: Amat			
Roboter: P-5000			
Fehler Nummer:	Beschreibung	MTTF [h]	Reparaturmaßnahmen
Fehler 1	Verlust der Seilspannung	~26.000	Seilzug austauschen (Infineon Maintenance)
Fehler 2	Vakuumleck	~35.000	Kapsensorkabel austauschen (Infineon Maintenance)
Fehler 3	Zahnrad verschlissen	~40.000	Zahnrad austauschen (Infineon Maintenance)
Fehler 4	Lagerschaden Robotermechanik	~26.000	Lager austauschen (Infineon Maintenance)

Tabelle 3.2 Fehlerbewertung der Anlage Amat

¹⁶MTTF: Mean Time To Failure, engl.: mittlere Lebensdauer

Anlage: Gasonic			
Roboter: Z-Bot II (Brooks Automation)			
Fehler Nummer:	Beschreibung	MTTF [h]	Reparaturmaßnahmen
Fehler 1	Verliert Steps in der Rotationsbewegung	~17.000	Reparatur in Regensburg (Dauertestmöglichkeit)
Fehler 2	Verliert Steps in der up/down Bewegung	~17.000	Reparatur in Regensburg (Dauertestmöglichkeit)
Fehler 3	Spindel defekt	~80.000	Reparatur in Regensburg (Dauertestmöglichkeit)

Tabelle 3.3 Fehlerbewertung der Anlage Gasonic

Anlage: EVG			
Roboter: Gencobot (Genmark)			
Fehler Nummer:	Beschreibung	MTTF [h]	Reparaturmaßnahmen
Fehler 1	Kabelbrüche	~17.000	Refurbisht bei Reser
Fehler 2	Motor defekt	~17.000	Refurbisht bei Reser

Tabelle 3.4 Fehlerbewertung der Anlage EVG

Anlage: Lam Alliance			
Roboter: Mark 7 (Brooks Automation)			
Fehler Nummer:	Beschreibung	MTTF [h]	Reparaturmaßnahmen
Fehler 1	Encoderfehler	~80.000	Wird von Brooks Automation repariert
Fehler 2	Vakuumleck	~120.000	Lager und Vakuumdurchführung tauschen

Tabelle 3.5 Fehlerbewertung der Anlage Lam Alliance

Anlage: Lam TCP / Rainbow			
Roboter: Stand Alone/Harmonic Drive (Eigenbau Lam Research)			
Fehler Nummer:	Beschreibung	MTTF [h]	Reparaturmaßnahmen
Fehler 1	Sensorfehler	~17.000	Sensor austauschen (Infineon Maintenance)
Fehler 2	Getriebe defekt	~17.000	Zahnrad austauschen (Infineon Maintenance)

Tabelle 3.6 Fehlerbewertung der Anlage Lam TCP / Rainbow

4 Anwendbare Sensorik für den RP

Für die Positionsbestimmung des TCP vom IR können unterschiedliche Sensoren eingesetzt werden. Nachfolgend werden diese Systeme aufgelistet und näher erklärt.

4.1 Mechanische Sensoren

4.1.1 Seilzug-Wegsensor

Mit Seilzug-Wegsensoren (4.1.1) kann linear über den gesamten Messbereich gemessen werden. Eine Messeinheit besteht aus der Basis-Seilzug-Mechanik und dem Adapter für den Encoder. Positionsmessungen im 1/10mm Bereich sind hiermit möglich. [33]



Abb. 4.1.1 Seilzug-Wegsensor

4.1.2 Koordinatenmessmaschine

Die Vermessung bei Koordinatenmessmaschinen (KMM, Abb. 4.1.2) erfolgt mit dem Teach-In Verfahren und einem schwenkbaren integriertem Messtaster. Es können so beliebig viele Messpunkte auch in schwierigen Zonen angefahren werden. Die Koordinatengenauigkeit liegt im 1/1000mm Bereich. Die Nachteile bei KMM sind der große Platzbedarf sowie die hohen Kosten. [34]



Abb. 4.1.2 Koordinatenmessmaschine

4.1.3 Messtaster

Messtaster berühren während der Messung das Messobjekt mit einer Messkraft von ca. 1N. Im Zylinder des Messtasters (4.1.3) befindet sich eine Absolutwert¹⁷-Glasskala mit verschiedenen Markierungen, die sich nach der Position richten, die mit dem hochauflösenden CMOS-Sensor erfasst werden. Von einem Prozessor werden die Ausgangssignale verarbeitet, was eine konstante Positionserfassung erlaubt.



Abb. 4.1.3 Messtaster

¹⁷Absolutwert: Wert (Zahl) ohne Vorzeichen

Der Messtaster wird nach dem Erreichen des Messobjektes in der gewünschten Position pneumatisch ausgefahren. Somit wird keine externe Einheit für die Zustellung der Messtaster benötigt. Die Koordinatengenauigkeit liegt bei 1µm. [35]

4.2 Optische Sensoren

4.2.1 Theodoliten / Tachymeter

Theodoliten (Abb. 4.2.1) werden zur Winkelvermessung (Horizontal und Vertikalwinkel) sowie für die Entfernungsmessung eingesetzt. Beim Tachymeter kann zusätzlich die Schrägstrecke (die schräg gemessene Entfernung zum Zielpunkt) ermittelt werden.



Abb. 4.2.1 Theodolit

Der Nachteil für den Einsatz von Theodoliten/Tachymetern für den RP sind die sehr zeitaufwändige Messung, der hohe apparative Aufwand sowie die schwere Automatisierbarkeit. Präzisionstachymeter haben auf eine Distanz von 60m eine Querabweichung von 0,2mm. [36] [37]

4.2.2 Laserscanner

Um mittels Laserscanner (Abb. 4.2.2) die Position in x-, y- und z-Richtung bestimmen zu können, besitzen die Scanköpfe zum dreidimensionalen lasermarkieren neben den zwei Spiegeln für die x- und y-Achse noch eine verstellbare Optik für die Tiefe (z-Achse). Zum vermessen von Körpern erfolgt ein rasterartiges Überstreichen mit einem Laserstrahl. Die Koordinatengenauigkeit von Laserscannern beträgt 0,08mm [38]



Abb. 4.2.2 Laserscanner

4.2.3 Lasertracker

Beim Lasertracker (Abb. 4.2.3) werden durch Winkelencoder, Laserinterferometer und Absolut-Distanz-Messsysteme Winkel und Strecke durch Messung auf einen Reflektor für die Ermittlung der räumlichen 3D-Koordinate bestimmt. Die Koordinatengenauigkeit (bei 2m Abstand) beträgt 0.015mm. [39]



Abb. 4.2.3 Lasertracker

4.2.4 3D-Lichtschnittverfahren

Das 3D Kamerasystem arbeitet mit dem Triangulationsverfahren¹⁸. Dabei wird schräg zur optischen Achse der Kamera eine LED- oder Laserzeile auf das Messobjekt

¹⁸Triangulationsverfahren: Ist eine Methode der optischen Abstandsmessung durch Winkelmessung innerhalb von Dreiecken

projiziert (Abb. 4.2.4). Die Position der Linie im Kamerabild ändert sich mit der Höhe des Objektes und erlaubt so die Berechnung der Höhe und lateralen Position der Strukturen. Durch das Verschieben der Anordnungen werden Lichtzeilen aneinander gereiht und so die Raumkoordinaten (x-, y-, z-Richtung) der ganzen Oberfläche berechnet. Die Koordinatengenauigkeit beträgt 0,01mm. [40]

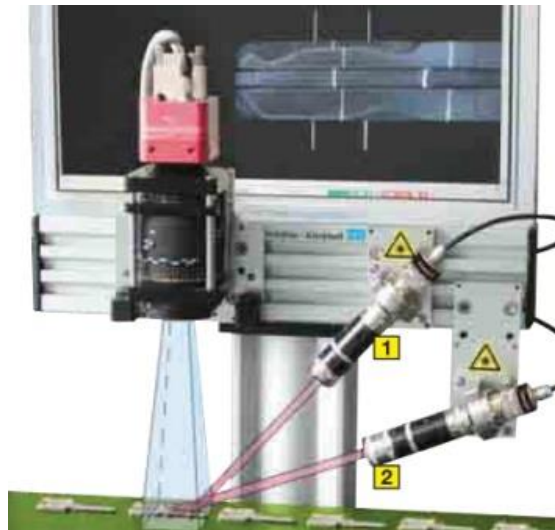


Abb. 4.2.4 Lichtschnittverfahren

4.2.5 2D/3D Laser-Profilsensor

Bei den Laser Profilsensoren wird ein zu einer Linie ausgeweiteter Laserstrahl auf die Messobjektoberfläche projiziert (Abb. 4.2.5). Das davon reflektierte Licht trifft auf einen CMOS¹⁹-Empfänger. Änderung erkennt der Sensor und ermittelt die Wegverschiebung und die Form.

Optional gibt es Messsysteme, die mit blauem Laser arbeiten. Da dieser kurzwelliger ist erzeugt er ein stabilisiertes, hochpräzises Profil. Durch die erhöhte Leuchtdichte ist auch eine größere Lichtaufnahme möglich. Dies garantiert stabile und präzise Messungen auch bei Messobjekten, die sonst nur schwer zu erfassen sind. Die Wiederholgenauigkeit ist abhängig vom Messbereich des Sensors (0,0025mm bei einem Messbereich von 20mm und 0,06mm bei einem Messbereich von 300mm). [41]

¹⁹CMOS: complementary metal oxide semiconductor; Die Sensoren basieren auf dem fotoelektrischen Effekt. Sie wandeln die eintreffenden Photonen in elektrische Ladung um

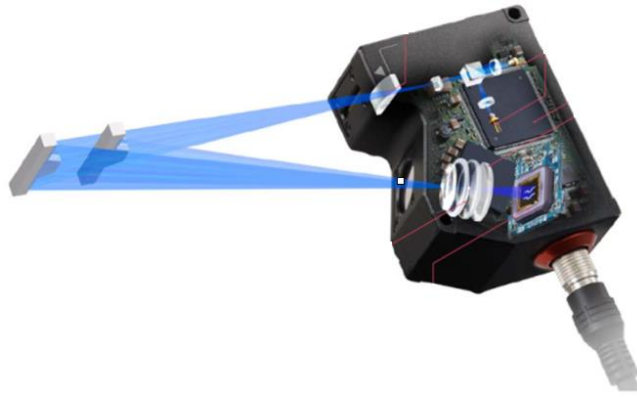


Abb. 4.2.5 3D Laser-Profilsensor

4.2.6 Mehrzweck-CCD-Laser-Mikrometer

CCD-Laser Mikrometer werden für die präzise Erkennung des Lichtdurchlassvolumens (z.B. Trübung von Flüssigkeiten) bzw. zur Erkennung von Kantenpositionen (z.B. Bahnkantensteuerungen) eingesetzt. Im Lichtaufnahmeelement wird ein CCD²⁰-Element verwendet. Für die Präzisionsunterscheidung wird die Kante des Lichtschranken-Laserlichts erfasst (Abb. 4.2.6). Hauptanwendungsgebiet dieses Sensors ist die Erkennung von (transparenten) Kantenpositionen. Mit dem CCD-Laser-Mikrometer wird eine Wiederholgenauigkeit von 5µm (bei einem Abstand zw. Sender und Empfänger bis 100mm) sowie eine Linearität von +/-0,1% vom Endwert (v.E) erreicht. [42]



Abb. 4.2.6 CCD-Laser-Mikrometer

²⁰CCD: charge coupled device; Ist ein lichtempfindliches elektronisches Bauelement zur Erfassung zweidimensionaler Bilder

4.2.7 Optisches LED Lichtbandmikrometer

Mit dem LED Lichtbandmikrometer hat man die Möglichkeit, die Position eines Objektes in x-Richtung und in y-Richtung bestimmen zu können (beim CCD-Laser-Mikrometer ist nur die Positionsbestimmung in eine Richtung möglich).

Gleichförmiges, stabiles Licht, das von einer LED ausgesendet wird, trifft durch ein telezentrisches²¹ optisches System hindurch und wird von einem CCD-Element aufgenommen (4.2.7). Durch diesen Aufbau ist eine sehr schnelle und extrem präzise Messung möglich. Bei anderen Entwicklungen wird grünes LED-Licht als gleichförmiger, kollimierter²² Strahl emittiert²³.

Eine telezentrische Optik bildet den Schattenwurf des Objektes auf einem Zeilensensor²⁴ ab und detektiert die Position der Kanten. Dadurch kann die Position eines Messobjektes in der x-Achse und in der y-Achse erkannt werden. Die Messgenauigkeit beträgt $2\mu\text{m}$ (bei einem Messbereich von 0,08 bis 30mm). [43]

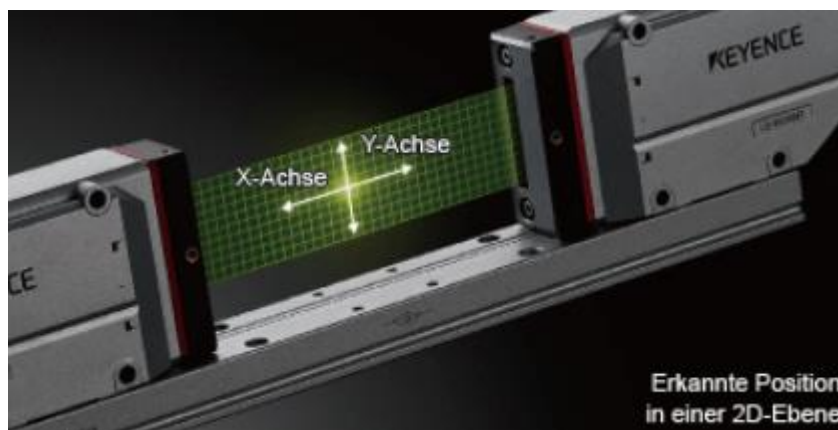


Abb. 4.2.7 Optisches LED-Lichtbandmikrometer

Durch den Einsatz einer kegelförmigen Messspitze kann durch die Vermessung des Kegels auch die Position der z-Achse bestimmt werden. Je weiter die Eindringtiefe, desto größer wird der Durchmesser und somit die zu messende Länge des Kegels.

²¹telezentrische Optik: Ist ein optisches Objektiv, bei dem die Eintritts- oder Austrittspupille im Unendlichen liegt

²²kollimierter Strahl: parallelgerichteter Strahl

²³emittiert: ausgesendet

²⁴Zeilensensor: Sind optoelektrische Sensoren (CCD- oder CMOS-Sensoren), bei denen die einzelnen lichtempfindlichen Halbleiterpixel in Reihen angeordnet sind

4.2.8 Ranging Edge Detector

Ranging Edge Detector (RED, Abb. 4.2.8) bestehen aus einem CCD-Sensor, einer davon getrennt gegenüberliegenden Laserbelichtungseinheit und einer eingebetteten Signalverarbeitung, welche für die Berechnung der zweidimensionalen Positionsdaten verantwortlich ist.

Das skalierbare Belichtungssystem besteht aus mindestens 2 Laserquellen. Dadurch kann neben der horizontalen Kantenposition (x-Position) auch die Entfernung (y-Position) des Objektes zum CCD-Sensor bestimmt werden.

RE-Detektoren werden üblicherweise zur zweidimensionalen Kantenvermessung von Objekten in x- und in y-Richtung eingesetzt. Auch hier kann beim Einsatz einer kegelförmigen Messspitze zusätzlich die z-Richtung vermessen werden. RED haben eine Koordinatengenauigkeit von $\sim 0,05\text{mm}$. [44]

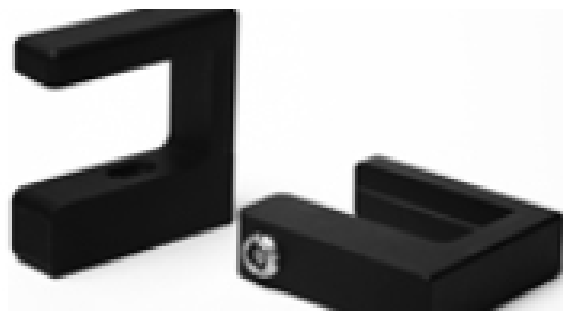


Abb. 4.2.8 Ranging Edge Detector

4.2.9 Multi-Funktions-CMOS-Analogsensor

Als Messprinzip wird bei den Laser-Differenz-Wegmesssensoren das Triangulationsmessverfahren verwendet, um die Position des reflektierenden Lichts auf dem CMOS-Bauelement zu bestimmen. Die Position des Messobjekts wird durch Ermittlung dieser Wegänderung gemessen (Abb. 4.2.9). Wiederholgenauigkeit: $0,001\text{mm}$. Linearität: $\pm 0,05\%$ v.E. [45]

4.3.2 GPS-Tracking

GPS-Tracking im herkömmlichen Sinn ist für die Positionsbestimmung für TCP von IR zu ungenau (Koordinatengenauigkeit im m-Bereich). Die Weiterentwicklung der bestehenden GPS-Systeme zur 3D-Vermessung von Maschinen bietet μ -GPS (Abb. 4.3.2). Raumpositionen können in einem ca. 800mm langen und 60 Grad breiten Kegel im Bereich von 1/100mm Koordinatengenauigkeit (in x-, y-, und z-Richtung) eingemessen werden. [47]



Abb. 4.3.2 μ -GPS

4.4 Kombinierte Methoden

4.4.1 Laserpointer / Auswertemonitor

Eine weitere Möglichkeit, die Position des TCP eines IR zu vermessen, kann mittels einer Kombination aus einem Laserpointer und einem Auswertemonitor erfolgen. Am TCP des IR wird ein Laserpointer montiert. Bei Bewegung des TCP wird der Laserpointer mitbewegt. Die Auswertung der Position des Lasers erfolgt über Auswertemonitore (beispielsweise CCD-Sensoren). Die Bestimmung der Position in x-Richtung und in y-Richtung ist so möglich. Für die Auswertung der z-Achse wird eine zusätzliche Messeinrichtung benötigt.

4.4.2 Messtaster / Laser-Mikrometer

Mit der Kombination Messtaster / Laser Mikrometer kann sowohl die Position für x-, y-, und z-Richtung ermittelt sowie zusätzlich die Linearität des IR bei Verwendung eines quaderförmigen Messobjektes ausgewertet werden. Es werden hierbei 3 Messtaster (jeweils einer pro Achse) und ein Laser Mikrometer benötigt.

5 Ansätze

5.1 Entscheidungsanalyse

Zur Lösungsfindung wurde in Tabelle 5.1 eine Auflistung der Sensoren inkl. der Bewertungskriterien Genauigkeit, Preis, Platzbedarf sowie weitere Einsatzmöglichkeiten bei der Fa. Infineon erstellt. Sie dient zur Übersicht der Vor- und Nachteile der einzelnen Sensoren und hilft bei der Auswahl für den Einsatz im RP. Die Bewertung reicht dabei von 1 für sehr gut bis 5 für nicht genügend.

Sensor	Genauigkeit	Preis	Platzbedarf	Weitere Einsatzmöglichkeiten (bei Infineon)	Summe
Theodolit	4	3	3	4	14
Tachymeter	3	4	3	4	14
Ultraschallortung	4	1	1	3	9
Seilzug-Wegsensor	4	1	1	4	10
Laserscanner	2	5	3	3	13
Lasertracker	1	5	3	3	12
GPS-System	2	5	5	4	16
Koordinatenmessmaschine	1	5	5	2	13
3D-Lichtschnittverfahren	2	3	2	3	10
2D/3D Laser-Profilsensor	2	4	1	3	10
CCD Laser-Mikrometer	2	3	1	3	9
Ranging Edge Detector	2,5	3	1	3	9,5
Messtaster	1	1	1	3	6
Multi-Funktions-CMOS Analsensor	1,5	2	1	3	7,5

Tabelle 5.1 Bewertung der gefundenen Sensoren

5.2 Implementierung in den Roboterprüfstand

Für den Roboterprüfstand kommt die Kombination Messtaster / CCD-Laser-Mikrometer zum Einsatz. Mit einer Genauigkeit von 1 μm zählen die Messtaster zu den genauesten der gefundenen Messsysteme. Meistens steigt fast exponentiell zur Genauigkeit der Preis bei den Messsystemen (Bsp.: Seilzug-Wegsensoren, Genauigkeit im 1/10mm Bereich, Preis ~1000€; RED, Genauigkeit im 5/100mm Bereich, Preis~3000€; μ -GPS, Genauigkeit im 1/100mm Bereich, Preis ~80.000€). Die Messtaster zählen aber, trotz ihrer Messgenauigkeit, zu den günstigsten der gefundenen Messsysteme (~600€ pro Messtaster). Sollte der Roboter beispielsweise Lagerschäden aufweisen, aber dennoch im erforderlichen Bereich die Positionsgenauigkeit anfahren können (aber nicht mehr linear), so kann die Abweichung dieser Linearität durch das Laser-Mikrometer ausgewertet werden. Somit wird, relativ kostengünstig, mit dem Messtaster / Laser-Mikrometer-System die Position des zu messenden Objektes am IR im 1/1000tel mm Bereich genau vermessen sowie zusätzlich die Linearität des Messobjektes ausgewertet. Die Vorgabe, Sensoren mit hoher Genauigkeit möglichst kostengünstig zu realisieren, wird mit diesem System eingehalten.

5.3 Funktionsbeschreibung der eingesetzten Sensoren

5.3.1 Messtaster

Die Messtaster besitzen ein Erkennungssystem ohne Abtastfehler. Die Absolutwert-Glasskala besitzt verschiedene Markierungen, die sich nach der Position richten, die mit dem hochauflösenden CMOS-Sensor bei hoher Geschwindigkeit erfasst werden (Abb. 5.3.1). Durch dieses Erkennungsprinzip werden Informationen zur Absolutposition von der in die Skala eingravierten Schlitzmarkierungen abgelesen. Sender, Empfänger und CPU sind im Gehäuse des Messtasters integriert. Als Lichtquelle werden hochintensive HL²⁶-LED's verwendet. Diese emittieren Licht, das die Absolutwertskala passiert. Ein hochauflösender CMOS-Sensor empfängt das Licht. Die Daten werden vom I-Processor²⁷ in Ausgangssignale umgewandelt, was eine konstante Positionserfassung erlaubt.

²⁶HL: hohe Leuchtstärke

²⁷I-Processor: Eine IC mit Algorithmen, die eine arithmetische Verarbeitung des vom CMOS-Sensor übermittelten Ausgangssignals mit großer Geschwindigkeit und hoher Auflösung durchführen kann

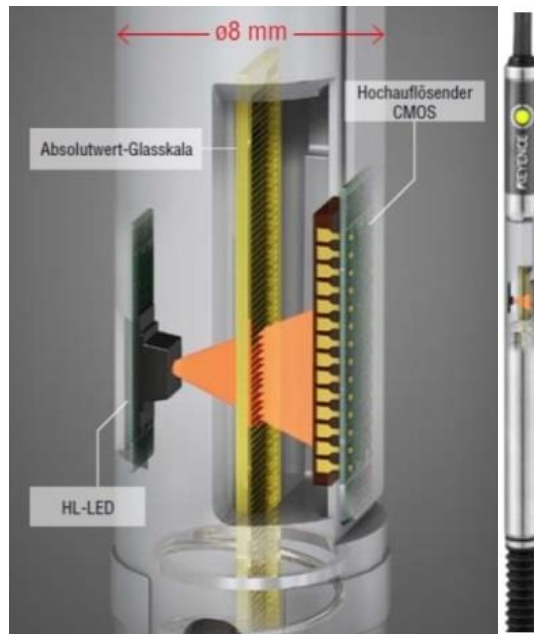


Abb. 5.3.1 Messtaster-Technologie

Vorteile dieser Technologie:

- Keine Abtastfehler
 - Absolutposition bekannt
 - Hohe Absolutgenauigkeit
 - Hohe Präzision über den gesamten Messbereich
 - Stabile Temperatureigenschaften
 - Kann bei öligen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden
 - Lange Lebensdauer (~100 Millionen Hübe)
 - Industrial Ethernet Compatible (Profinet, Profibus, EtherNET/IP™, DeviceNET™, CC-Link)
 - An ein Ausgabegerät lassen sich 5 Messköpfe anschließen
 - Genauigkeit: 1µm
 - Robuste und widerstandsfähige Bauweise
 - Bei Modellen mit Druckluftzylinder ist kein Zustellmechanismus erforderlich
- [35]

Nachteile dieser Technologie:

- Keine berührungslose Messung möglich

5.3.2 Mehrzweck-CCD-Laser-Mikrometer

Der Vorteil beim CCD-Laser-Mikrometer liegt gegenüber mechanischen Sensoren in der einfachen Präzisionsunterscheidung ohne Beeinflussung durch das Messobjekt. Da die Messung berührungslos erfolgt, können auch Objekte vermessen werden, die beim Vermessen nicht berührt werden dürfen.

Es werden grundsätzlich zwei Funktionsweisen unterschieden:

- Erkennung des Lichtdurchlassvolumens
- Erkennung der Kantenposition (Abb. 5.3.2, wird beim Roboterprüfstand eingesetzt)

Bei herkömmlichen Lasern erzeugt der Transmissionspunkt²⁸ ein lückenhaftes Muster, erklärbar ist dies durch das laserspezifische Interferenzproblem²⁹, welches durch Laser mit einer Wellenlänge verursacht wird. Die eingesetzten Sensoren überwinden dieses Problem, indem sie einen Laser mit mehreren Wellenlängen verwenden. [42]

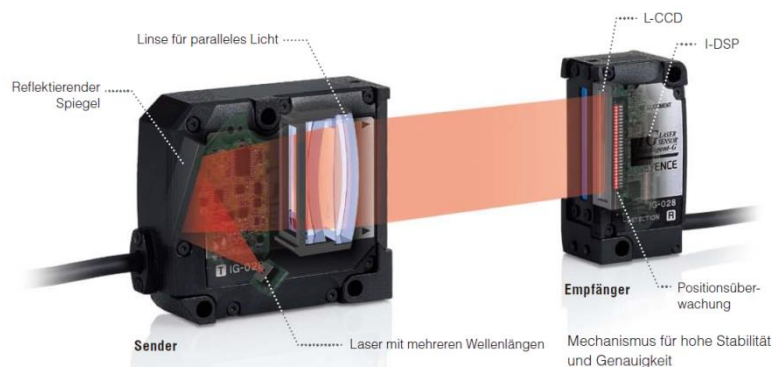


Abb. 5.3.2 CCD-Laser-Mikrometer-Technologie

Einsatzgebiet:

- Kantenkontrolle / Positionierung
- Außendurchmesser / Breitenmessung
- Innendurchmesser / Spaltnessung

²⁸Transmissionspunkt: Durchlässigkeit eines Mediums für die Übertragung von Wellen wie Schall oder Licht

²⁹Interferenz: Ist eine Überlappungserscheinung, die auftritt, wenn zwei oder mehr Wellenzüge dasselbe Raumgebiet durchlaufen

Vorteile:

- Wiederholgenauigkeit von 5µm
- Linearität +/-0,1% vom Einstellabstand (beim RP wurde ein Abstand zw. Sender und Empfänger von 50mm gewählt, d.h. die Genauigkeit der Linearität beträgt hier 0,05mm)
- Geringere Schmutzempfindlichkeit
- Einfache Ausrichtung der optischen Achse
- Kantenerkennung bei transparenten Messobjekten möglich

[42]

Nachteile:

- Mit dem CCD-Laser-Mikrometer können Objekte nur in einer Richtung vermessen werden. Sollen mit einem Sensor 2 Achsen vermessen werden, muss das wesentlich teurere LED-Mikrometer verwendet werden

6 Durchführung

Für die Vermessung des TCP am IR werden verschiedene Komponenten benötigt.

Für den RP kommen diese aus dem mechanischen, elektrischen und dem pneumatischen Bereich.

6.1 Mechanisch

Die mechanischen Komponenten des RP beinhalten:

- Messeinheit Messtaster
- Messeinheit CCD-Mikrometer
- Sicherheitslichtvorhang
- Grundgestell
- Schaltschrank
- Bedienpult (Touchscreen)
- Anbauteile

6.1.1 Roboterprüfstand-Konstruktion Endfassung

Abb. 6.1.1 zeigt die fertige Konstruktion mit einem P-5000 Roboter.

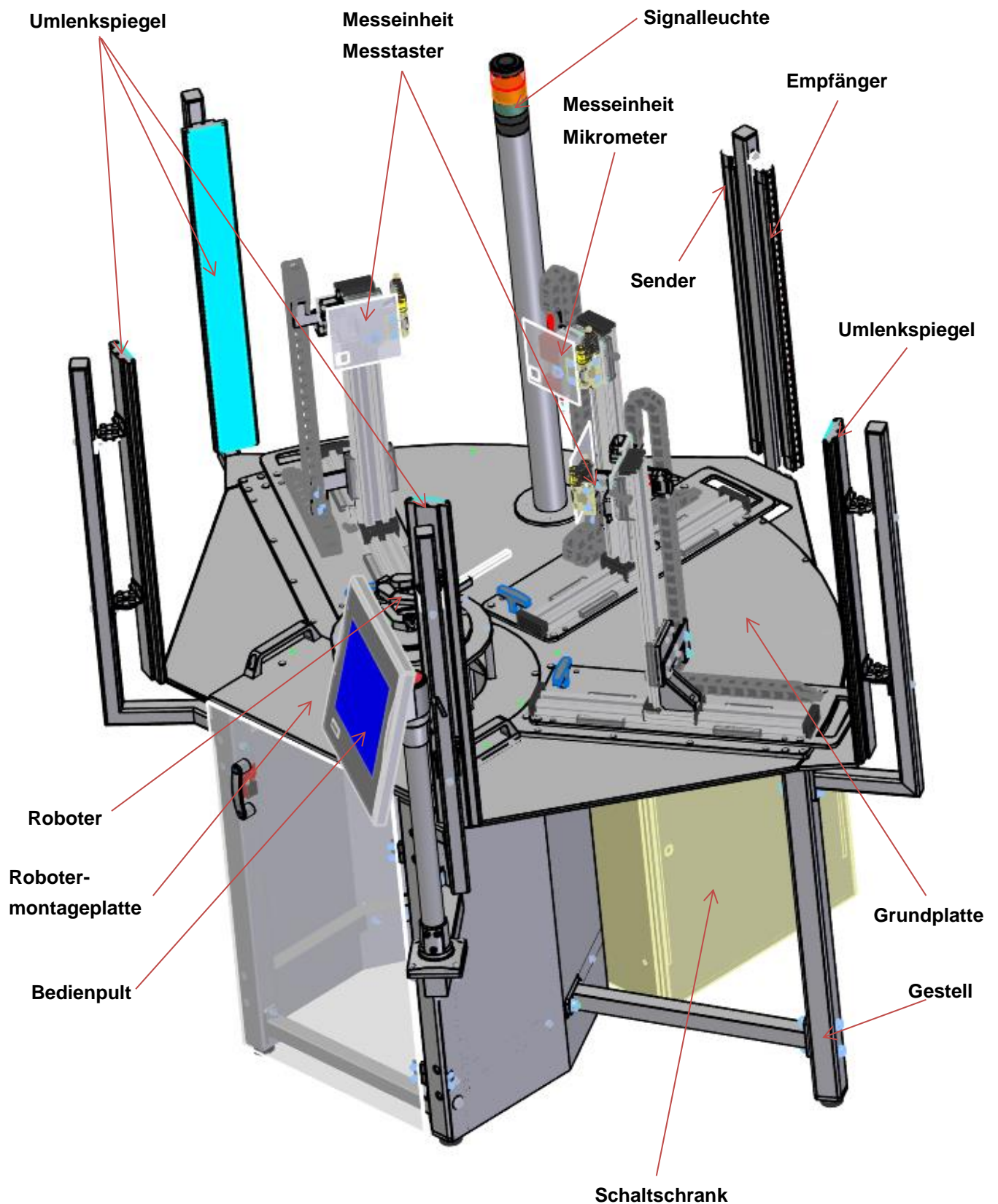


Abb. 6.1.1 Roboterprüfstand mit einem P-5000 Roboter

6.1.2 Messeinheit Messtaster

Um die Position des Messobjektes in x-, y- und z-Richtung vermessen zu können, ist am RP die Einheit Messtaster installiert. Mittels zwei Linearführungen kann die Sensoreinheit in z-Richtung sowie in x-Richtung für die Messung verstellt werden und außerdem mittels vorne angebrachtem Handgriff sowie der Ausnehmung an der Rückseite der Platte einfach und schnell auf der Grundplatte des RP positioniert werden (Abb. 6.1.2).

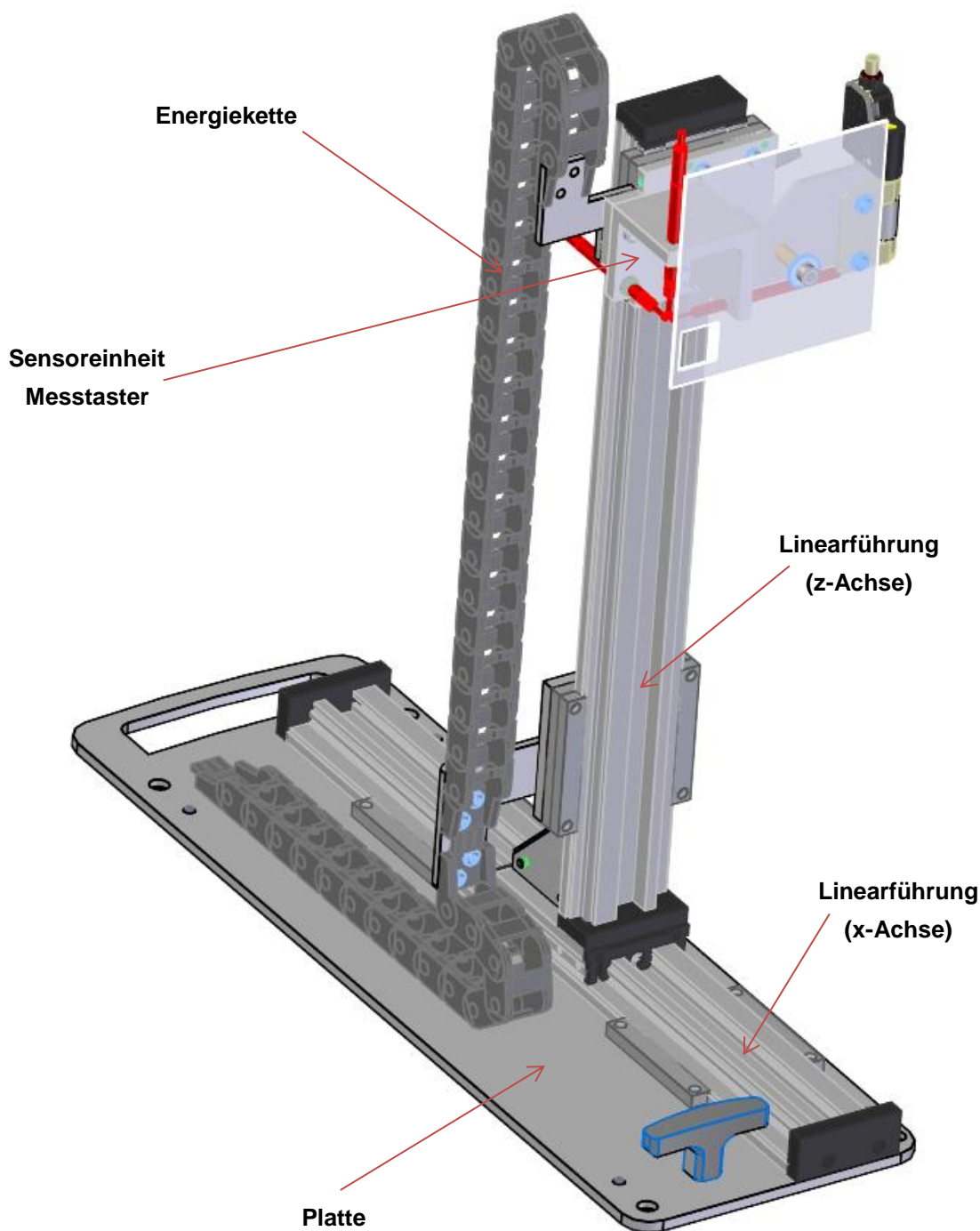


Abb. 6.1.2 Zusammenbau Messeinheit Messtaster

6.1.2.1 Sensoreinheit Messtaster

Die Sensoreinheit stellt das Messsystem der Messeinheit Messtaster dar. Die Messtaster (blau) werden mittels der mitgelieferten Montagehalterung befestigt (Abb. 6.1.3). Wenn das Messobjekt die Endposition erreicht hat, werden die Messtaster pneumatisch ausgefahren und das Messobjekt (rot) wird vermessen.

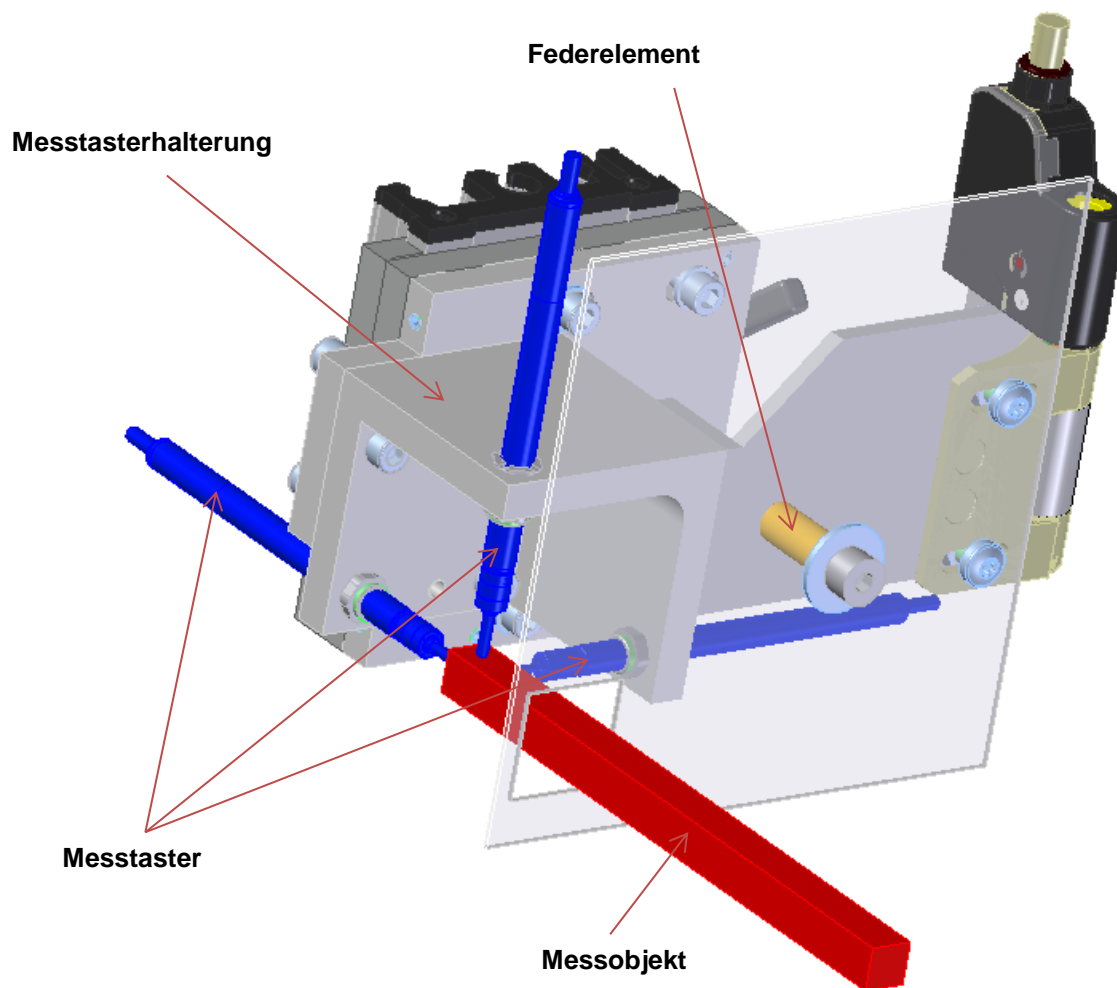


Abb. 6.1.3 Sensoreinheit Messtaster

6.1.2.2 Sicherheitsabschaltung

Das Sicherheitsscharnier (Abb. 6.1.4) hat die Aufgabe, bei einer Fehlfunktion des Roboters die Anlage abzuschalten, um eine Kollision mit den Messsensoren zu verhindern. Hierbei ist eine Abschaltplatte auf dem Sicherheitsscharnier montiert. Trifft bei einer Fehlfunktion des IR das Messobjekt auf die Abschaltplatte, wird das Sicherheitsscharnier betätigt und dadurch der Roboter gestoppt.

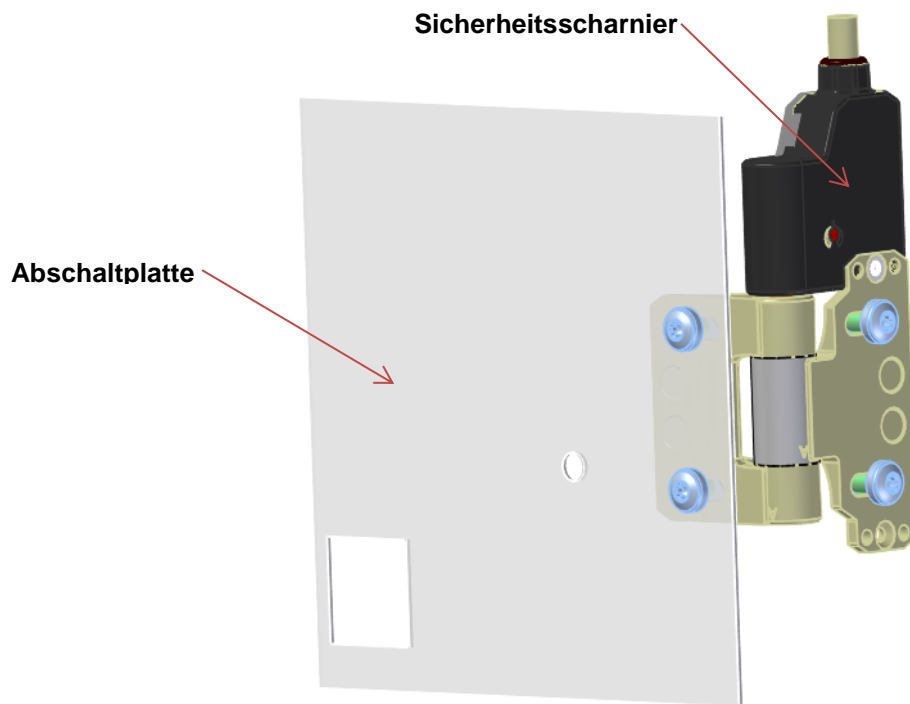


Abb. 6.1.4 Sicherheitsscharnier mit Abschaltplatte

6.1.2.3 Federelement

Damit die Abschaltplatte den „Stoß“ des Messtasters abfangen kann, ohne dass Beschädigungen an der Konstruktion auftreten, wurde ein Federelement (Abb. 6.1.5) konstruiert, dass die Abschaltplatte in Position hält sowie den Stoß abfängt. Nach der Kollision mit dem Messtaster wird die Abschaltplatte durch das Federelement wieder in die ursprüngliche Position gebracht.

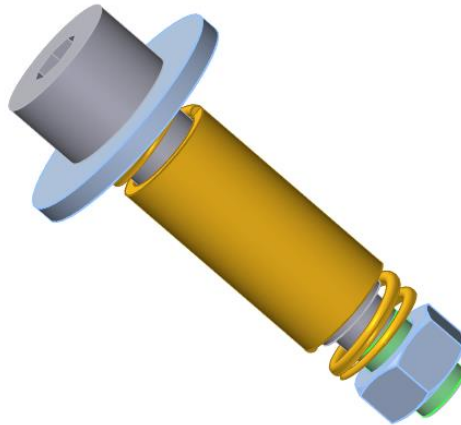


Abb. 6.1.5 Federelement

6.1.2.4 Messtasterhalterung

In die Messtasterhalterung (Abb. 6.1.6) werden die Messtaster montiert, die für die Vermessung des Objektes am TCP verantwortlich sind. Bei der Fertigung der Messtasterhalterung muss großer Wert auf die Maß- und Formhaltigkeit gelegt werden, da zu große Ungenauigkeiten die Messungen beeinträchtigen.

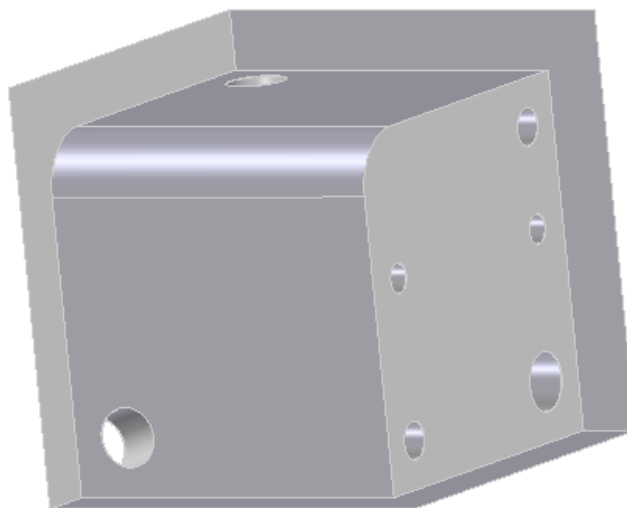


Abb. 6.1.6 Messtasterhalterung

6.1.2.5 Messtaster

Es werden pro Sensoreinheit drei Messtaster verbaut. Eine detaillierte Beschreibung ist im Kapitel 4.1.3 Messtaster, angeführt.

6.1.2.6 Führung

Um ein wiederholbares und genaues Messergebnis zu erhalten ist es nicht nur wichtig, dass die Sensoren die geforderte Messgenauigkeit aufweisen, sondern auch, dass die Komponenten, die der Sensorhalterung und Führung dienen, sich schnell verstellen lassen, aber trotzdem die Position während der Testphase beibehalten. Aus diesem Grund wurden spezielle, spielfreie Gleitführungen für die Positionierung der Sensoren in x- und y-Richtung verwendet.

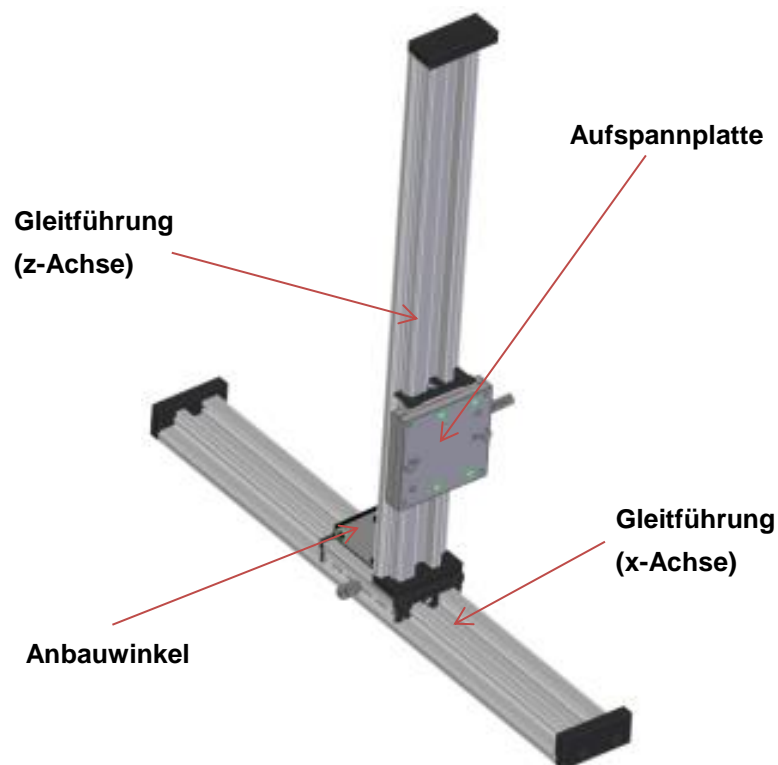


Abb. 6.1.7 Gleitführung-Zusammenbau

6.1.2.7 Platte (abschraubbar, mit Tragegriff)

Die Messeinheiten wurden so konstruiert, dass Sie im Gesamten (d.h. inkl. Führung, Sensoren, Energiekette, usw.) abschraubbar sind und sich schnell neu positionieren lassen.

Damit man die komplette Einheit einfach herunterheben kann wurde am hinteren Ende der Bodenplatte (Abb. 6.1.8) eine Öffnung zum Angreifen gefertigt sowie an der Vorderseite ein abschraubbarer T-Griff installiert.

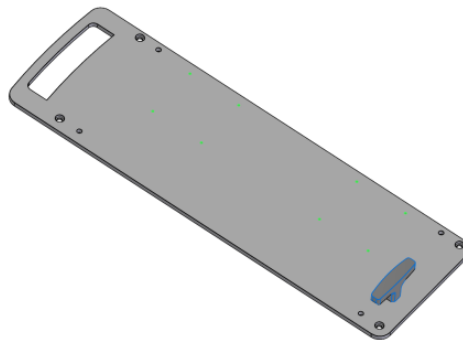


Abb. 6.1.8 Platte mit Tragegriff

6.1.2.8 Energiekette

Die Kabel der Sensoren und des Sicherheitsscharniers werden durch zwei Energieketten (Abb. 6.1.9) geführt, die mittels speziell konstruierten Halteplatten an der Messeinheit befestigt sind.

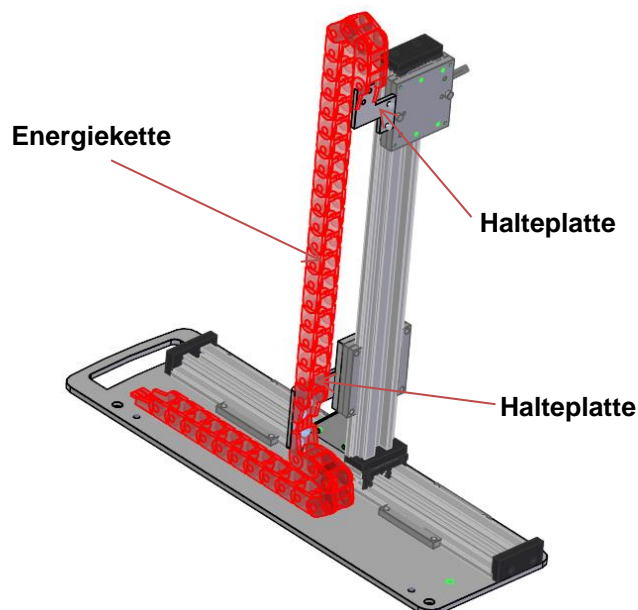


Abb. 6.1.9 Energiekette

6.1.3 Messeinheit CCD-Mikrometer

6.1.3.1 Zusammenbau Messeinheit CCD-Mikrometer

In Abb. 6.1.10 ist der Aufbau der Messeinheit CCD-Mikrometer ersichtlich. Alle nicht beschriebenen Komponenten der Messeinheit CCD-Mikrometer sind ident mit der Messeinheit Messtaster und wurden bereits beschrieben.

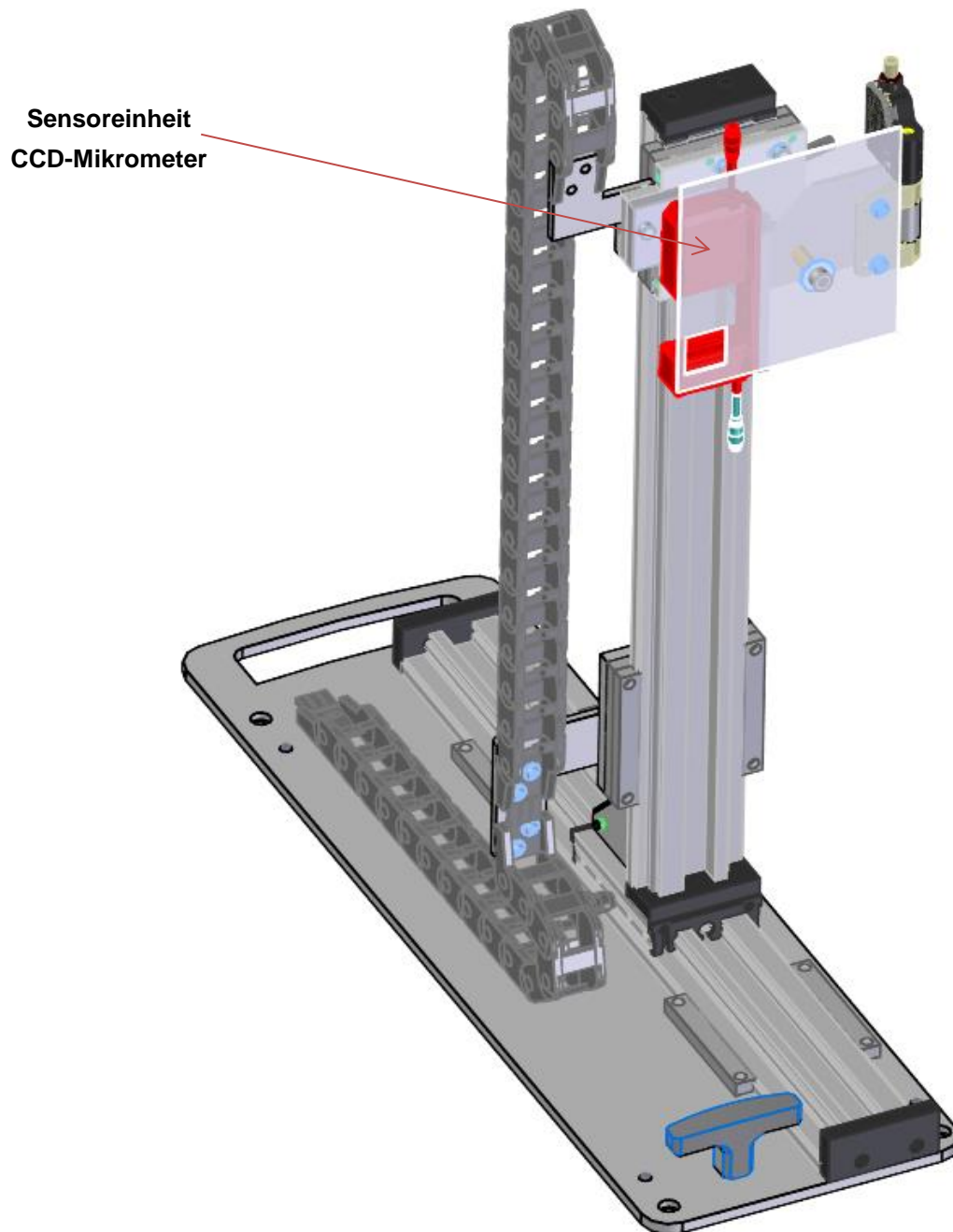


Abb. 6.1.10 Zusammenbau Messeinheit CCD-Mikrometer

6.1.3.2 Sensoreinheit CCD-Mikrometer

Die Sensorhalterung (Abb. 6.1.11) für das Mikrometer wurde an die vertikale Führung der Messeinheit über eine eigens konstruierte Halteplatte geschraubt. Das Messobjekt wird durch das Mikrometer geführt, sodass die Linearität der Roboterbewegung in x-Richtung vermessen werden kann. Mittels Justierschrauben lässt sich bei Bedarf das Mikrometer in 2 Richtungen verstellen.

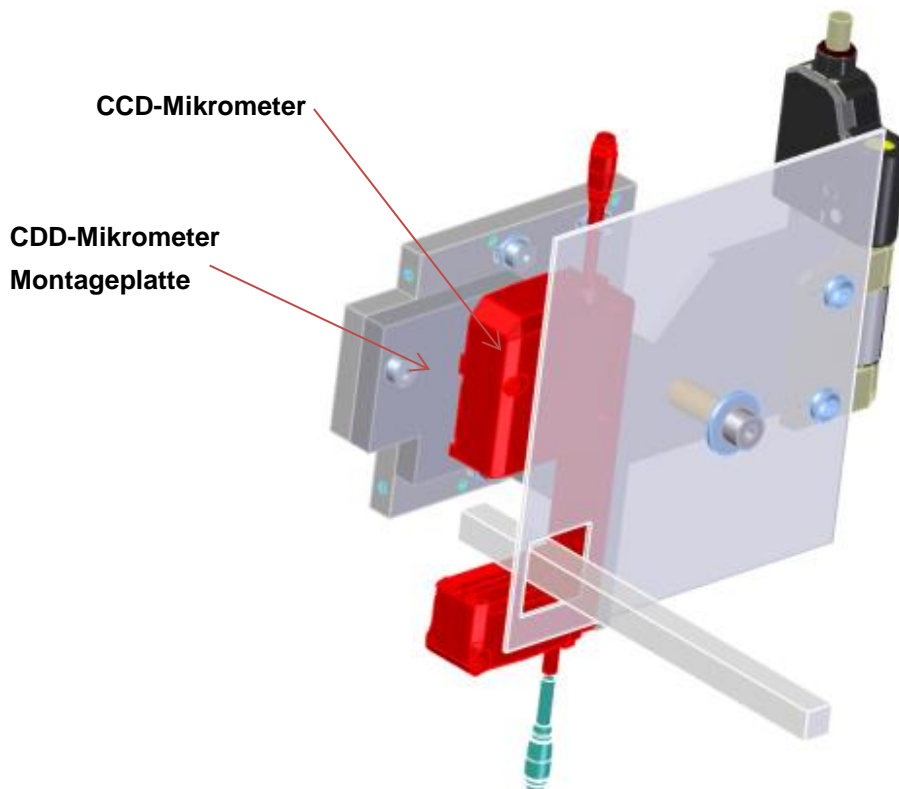


Abb. 6.1.11 Sensoreinheit CCD-Mikrometer

6.1.3.3 CCD-Mikrometer Montageplatte

Dient zur Befestigung des CCD-Mikrometers an die Gleitführung (Abb. 6.1.12).

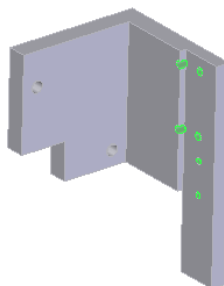


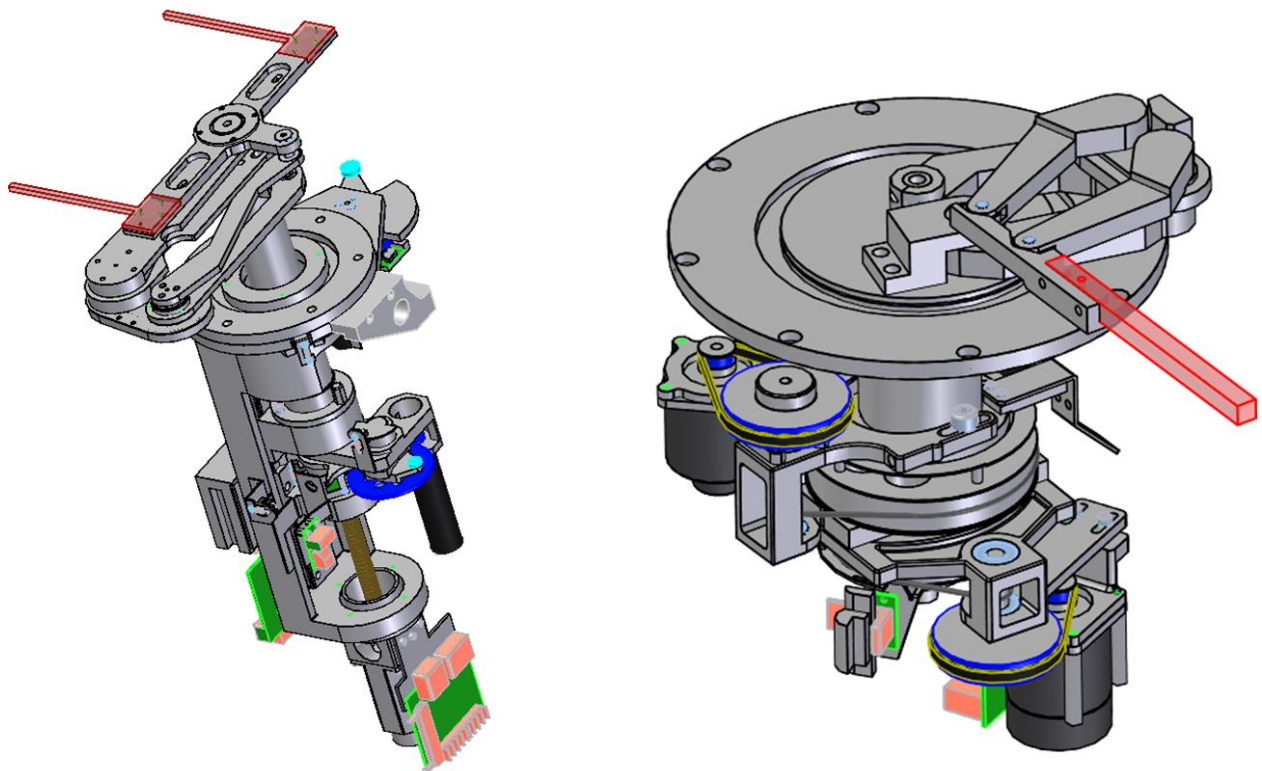
Abb. 6.1.12 CCD-Mikrometer Halterung

6.1.3.4 CCD-Mikrometer

Es wird pro Sensoreinheit ein CCD-Mikrometer verbaut. Eine detaillierte Beschreibung ist im Kapitel 4.2.6 Mehrzweck-CCD-Laser-Mikrometer angeführt.

6.1.4 Messobjekt

Für jeden eingesetzten Robotertyp muss ein entsprechendes Messobjekt konstruiert werden, da die Befestigungsmöglichkeit für jeden Roboter anders ist. Die Messeinheit selbst ist bei jedem Roboter quaderförmig ausgeführt, da Messungen mittels Messtaster in dieser Form einfach realisierbar sind. In Abb. 6.1.13 werden die an den Robotern montierten und am RP zu vermessenden Objekte rot dargestellt.



a) Messobjekt am Mattson Roboter

b) Messobjekt am P-5000 Roboter

Abb. 6.1.13 Roboter mit Messobjekt am TCP

6.1.5 Gestell (Grundrahmen)

Der Grundrahmen wurde als steifer Formrohrrahmen (Abb. 6.1.14) konstruiert. Dabei werden die einzelnen Komponenten miteinander verschraubt. Die Idee der Verwendung von Formprofile der Firma Item wurde verworfen, da sich die Verbindungen mit der Zeit lockern könnten und ev. Schwingungen die Messergebnisse verfälschen.

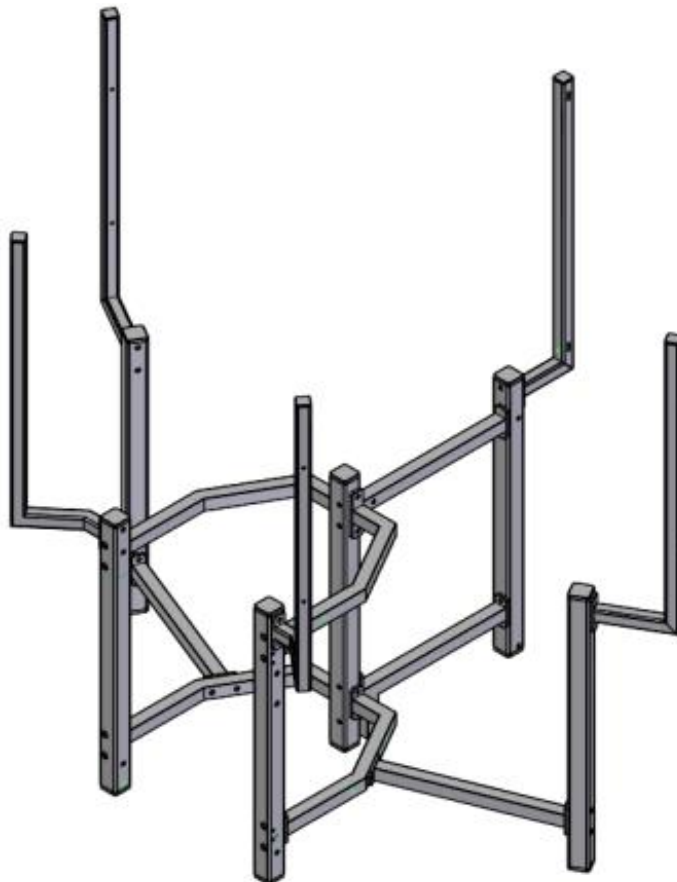


Abb. 6.1.14 Formrohrgestell

6.1.6 Sicherheitslichtvorhang

Um eine Kollision des Roboters mit dem Bediener zu verhindern, wurde um den kompletten Bewegungsbereich des IR ein Lichtvorhang (Abb. 6.1.15) installiert. Durch den Einsatz von vier Umlenkspiegeln genügt ein Sender-Empfänger-System für die sichere Abschaltung der Anlage im Ernstfall.

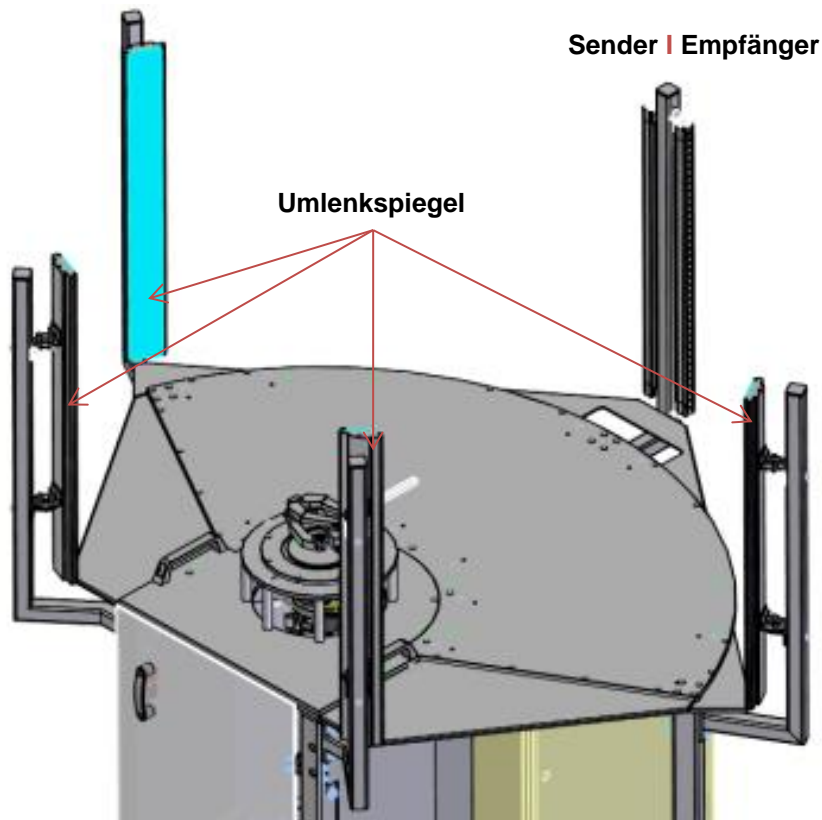


Abb. 6.1.15 Sicherheitslichtvorhang

6.1.7 Schaltschrank

Da die verschiedenen Roboter unterschiedlich angesteuert werden, wurde der Schaltschrank überdimensioniert, damit alle zu testenden Roboter überprüft werden können (auch Roboter, die zukünftig installiert werden).

6.1.8 Anbauteile

Natürlich besteht der Roboterprüfstand auch aus zusätzlichen Anbauteilen. Diese sind in den folgenden Abschnitten angeführt.

6.1.8.1 Tür mit Sicherheitsschalter

Die Tür schließt bei geschlossenem Zustand den Kontakt eines Sicherheitsschalters. Erst dann kann die Anlage in Betrieb genommen werden. Sollte die Tür während des Betriebes geöffnet werden, wird die Anlage selbstständig stillgelegt. Dies ist wichtig, da der obere Teil der Konstruktion (inkl. TCP des IR) vor Kollisionen mit dem Menschen durch das Lichtgitter geschützt ist, der untere Teil jedoch nicht.

Da bei manchen Robotern auch der untere Teil Rotationsbewegungen durchführt, ist hiermit gewährleistet, dass es zu keiner Konfrontation mit dem Bediener kommen kann. Außerdem wurden offene Scharniere verwendet, damit die Tür schnell ausgehängt werden kann. Das ist notwendig, da der Roboter im Vorfeld auf der RoboterMontageplatte auf einen fahrbaren Wagen montiert werden kann. Dieser wird direkt vor den Prüfstand gefahren, sodass die RoboterMontageplatte inkl. Roboter auf den Prüfstand hinaufgeschoben werden kann.

6.1.8.2 RoboterMontageplatte

Wird benötigt, um den Roboter außerhalb des Prüfstandes montieren zu können. Zur leichten Positionierung der Montageplatte inkl. Roboter wurden zwei Griffe installiert.

6.1.8.3 Grundplatte

Die Grundplatte ist direkt mit dem Formrohrrahmen (Gestell) verschraubt. Auf ihr werden die Messeinheit „Messtaster“ sowie die Messeinheit „CCD-Mikrometer“ montiert.

6.1.8.4 Schutzbleche

Diese sind um das Roboterunterteil angebracht und dienen ebenfalls der Sicherheit des Maschinenbedieners. Die mit der Tischplatte verschraubten Schutzbleche sind deshalb angebracht worden, damit man nicht von unten während des laufenden Betriebs in den Arbeitsbereich des IR gelangen kann.

6.1.8.5 Bedienelement

Zur Bedienung des Roboters wurde ein Touchscreen inkl. verstellbarer Halterung installiert.

6.1.8.6 Signalleuchte

Sie wird benötigt, damit die Betriebsarten des Prüfstandes erkennbar sind. Rotes Licht bedeutet, dass die Anlage im Betrieb ist. Oranges Licht heißt, dass der Prüfstand für einen Test vorbereitet wird und grünes Licht bedeutet, dass die Anlage nicht im Betrieb ist.

6.2 Pneumatisch

Die pneumatische Einheit besteht aus einer Wartungsgerätekombination (lila), die wiederum aus einem Einschaltventil, einem Druckregelventil (Druckluftbereich 0,3bar - 7bar) für die Vakuum und die Bernoulli Greifer, einem Abzweigmodul und einem weiteren Druckregelventil für die Messtaster (Druckluftbereich 2,4bar - 2,6bar) besteht. Die Messtaster werden von sechs 4/2 Wegeventilen (rot) angesteuert. Sicherheitstechnisch sind in der Schaltung zwei 3/2 Wegeventile (orange) installiert, die gewährleisten, dass die Messtaster beim Auslösen der Schutzeinrichtung einfahren. Damit man auch Roboter testen kann, die mit Vakuumgreifer ausgestattet sind, wurden vier 4/2 Wegeventile (blau) installiert, die in Verbindung mit einer Vakuumsaugdüse stehen und weitere vier 4/2 Wegeventile (grün), die einen Ausstoßimpuls erzeugen. Außerdem verfügt die Schaltung über zwei Ansteuerungen für Roboter, die mit Bernoulligreifer ausgestattet sind.

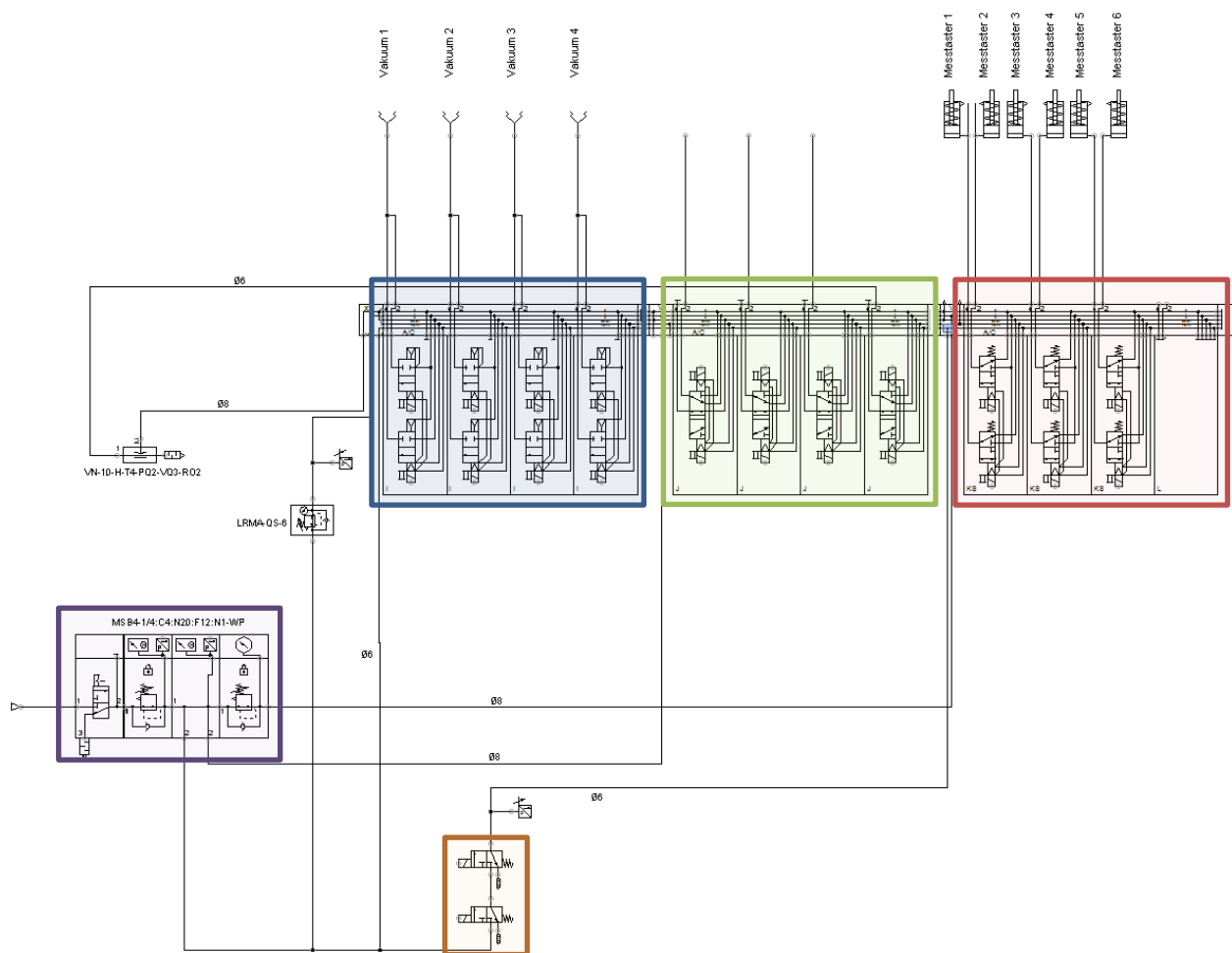


Abb. 6.2.1 Pneumatikschaltplan Roboterprüfstand

7 Validierung

7.1 Versuchsaufbau

Um die Konstruktion sowie eingesetzten Sensoren auf Funktionalität zu überprüfen, wurden die Messtaster sowie das CCD-Mikrometer in einem Versuchsaufbau getestet.

Für den Versuch kam ein Roboter der Fa. Mattson (siehe Kapitel 3.3 Mattson) zum Einsatz. Realisiert worden ist der Aufbau mittels Formprofilen, an denen die Messtasterhalterung angeschraubt ist sowie eine Halterung für das CCD-Mikrometer (Abb. 7.1.1). Für den Test ist der Roboter direkt über die Hauptsteuerung der Anlage in der Servicezone, dem sogenannten „Grauraum“³⁰, betrieben worden.

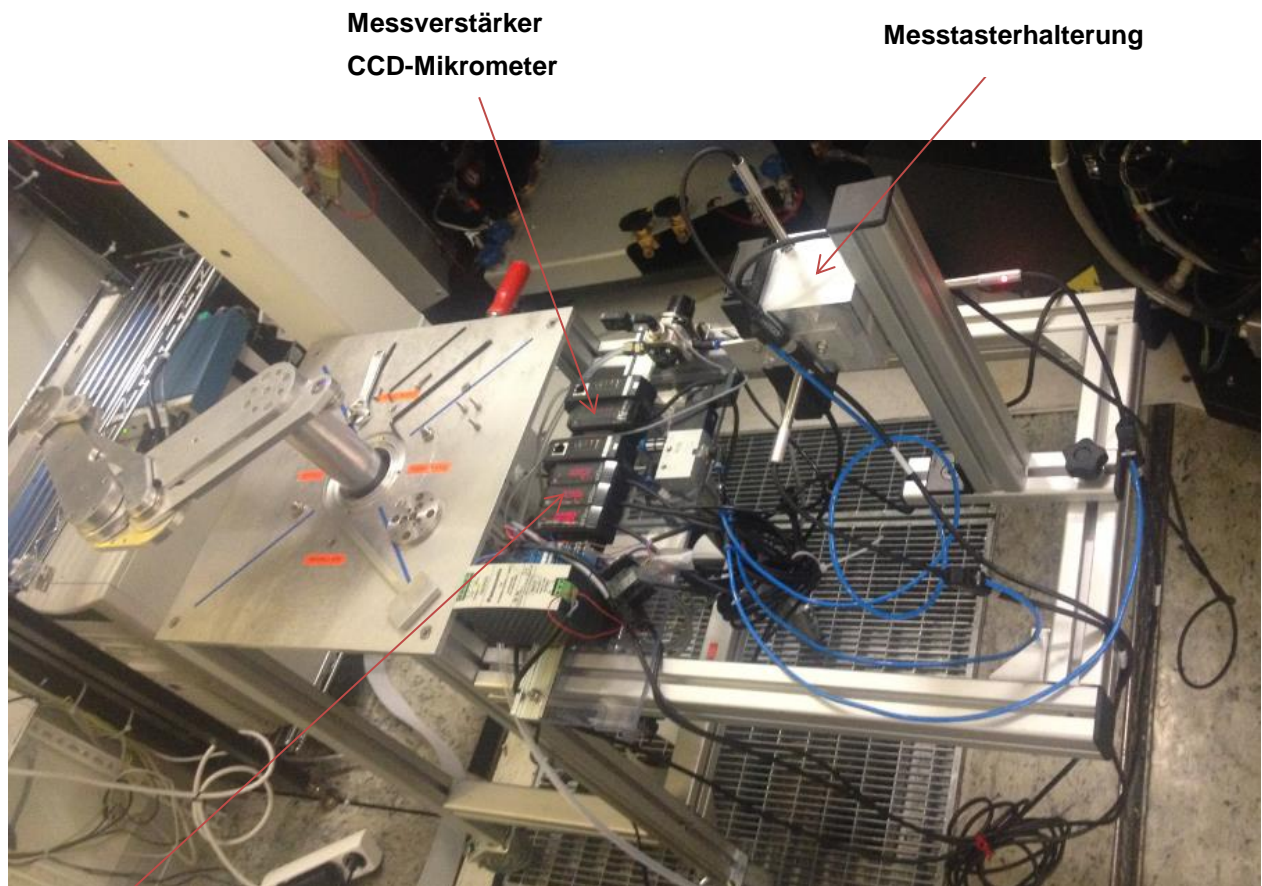


Abb. 7.1.1 Versuchsaufbau mit einem Mattson Roboter

Messverstärker
Messtaster

³⁰Grauraum: Ist vom Reinraum getrennt und bezeichnet den Raum direkt außerhalb des Reinraumes. Die Luft ist sauberer als in der Umgebung, aber mit Partikeln, die im Reinraum entstehen, belastet

7.2 Versuchsablauf

Zur Justierung der Messtaster und des CCD-Mikrometers wird der Roboterarm, an dem das zu vermessende Objekt befestigt ist, ausgefahren. Durch Betätigung eines Tasters, der an ein 3/2 Wegeventil angeschlossen ist, werden die Messtaster ausgefahren und die Messverstärker inkl. digitaler Anzeige auf null gestellt (Abb. 7.2.1). Das CCD-Mikrometer wird ebenfalls genullt.

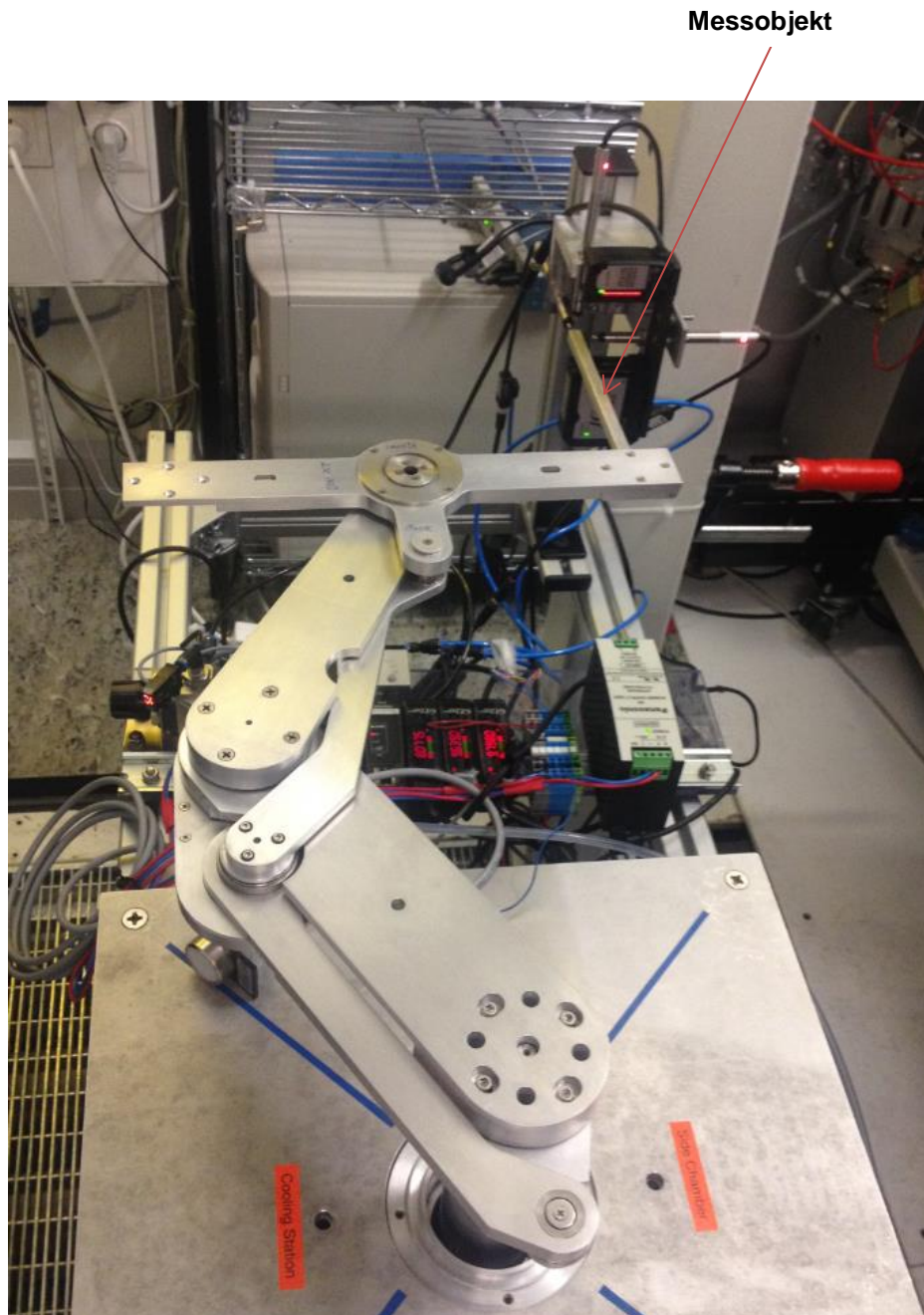


Abb. 7.2.1 Versuchsaufbau mit ausgefahrenem Roboterarm

7.3 Messergebnisse

Bei der ersten Messung (30 Messwerte) wurde der Roboterarm, auf dem das Messobjekt montiert ist, nur in x-Richtung ausgefahren.

7.3.1 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von einer Achse

Man kann erkennen, dass sich die Werte des Messtaster 1 (y-Achse) bei zunehmender Messung verschlechtern, während sich die Werte des Messtasters 3 (x-Richtung) in etwa umgekehrt proportional verhalten, jedoch ohne signifikante Verschlechterung wie in y-Richtung. Die höhere Ungenauigkeit in y-Richtung wird mit der Erwärmung des Roboters in Zusammenhang gebracht. Die Werte des Messtasters 1 sowie die Daten des CCD-Mikrometers sind annähernd ident (siehe Abb. 7.3.1). Dies war zu erwarten, da die y-Achse nicht bewegt wurde und somit ihre Ungenauigkeit mit dieser Messung nicht erfasst werden konnte. Außerdem kann bei dem Versuch mit dem Mikrometer nur die Endposition erfasst werden. Im RP wird das Messobjekt über eine Strecke von 120mm im Millisekunden-Takt vermessen und die Daten über einen PC ausgewertet.

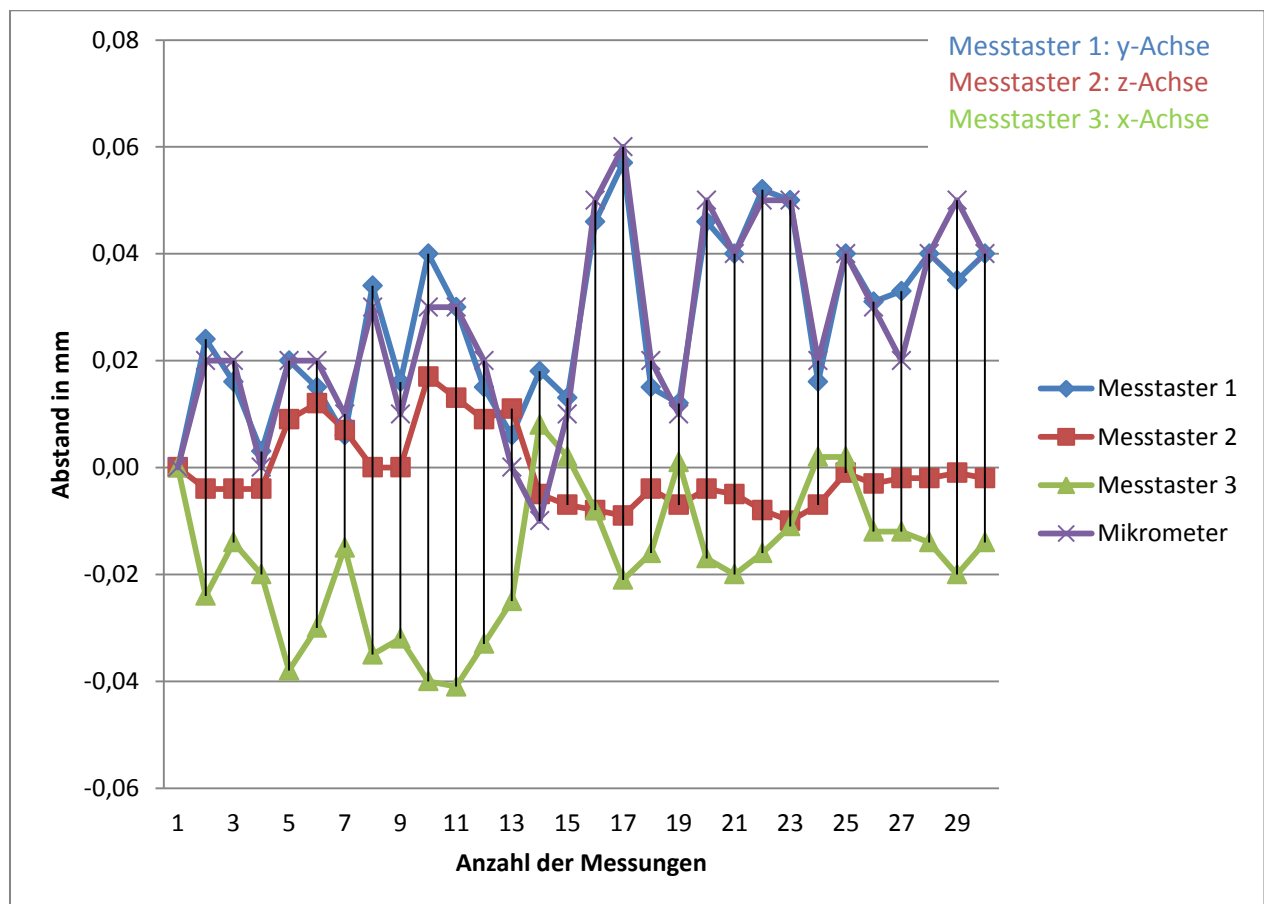


Abb. 7.3.1 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von einer Achse

7.3.2 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von 3 Achsen

Bei der zweiten Messung wurde der Roboterarm vor der Vermessung in der x-Richtung, y-Richtung und in z-Richtung bewegt. Die Messwerte aller Sensoren (Abb. 7.3.2) haben sich, im Vergleich zu den Ergebnissen bei der Vermessung der Bewegung von nur einer Achse, erwartungsgemäß verändert. Der Grund hierfür ist dass sich die Ungenauigkeiten aller bewegten Achsen summieren. Die Messwerte in y-Richtung haben die größte Abweichung im Vergleich zu Messung 1. Auch das war zu erwarten, da der Roboter in der y-Achse eine Rotationsbewegung ausführt und der Roboterarm aufgrund seiner Konstruktion in z-Richtung nur ganz ausfahren und keine vorgegebenen Punkte auf dieser Achse erreichen kann.

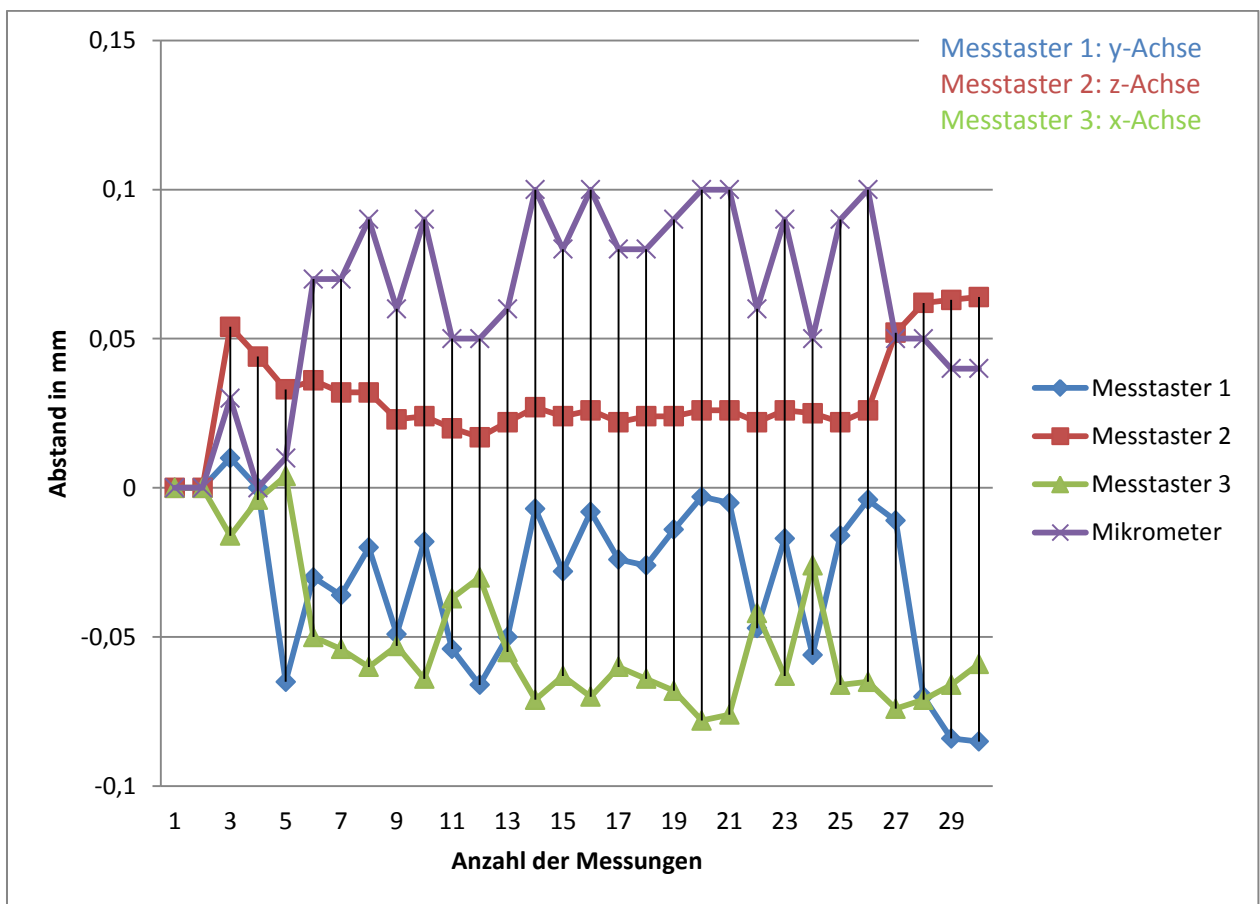


Abb. 7.3.2 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von 3 Achsen

7.4 Ergebnisdiskussion

Beim Versuch konnte beobachtet werden, dass sich die Position des zu vermessende Objekts bei der Vermessung durch die Messtaster verändert (Abb. 7.4.1). Die Messtaster berühren das Messobjekt mit einer Messkraft von $\sim 1\text{N}$, welche die Messergebnisse bereits verfälschen. Da die Messkraft der Messtaster aufgrund des Spiels vom Roboterarm den TCP in seiner Position leicht verändern, können ergo die ermittelten Messwerte nicht aussagekräftig ausgewertet werden.

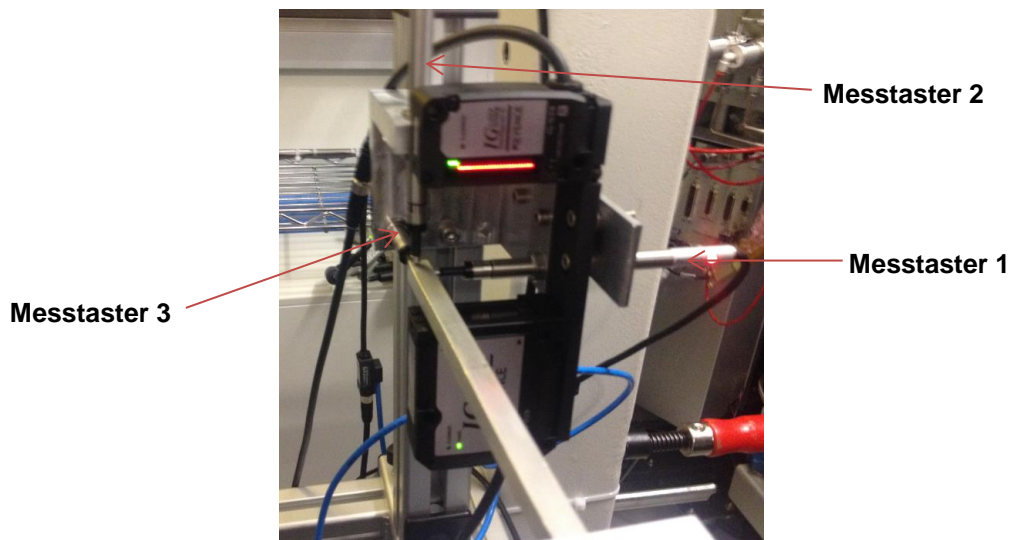


Abb. 7.4.1 Vermessung mit Messtaster und CCD-Mikrometer

Für den RP heißt das wiederum, dass mechanische Sensoren zur Vermessung der Positionsgenauigkeit nicht eingesetzt werden können.

Zudem zeigt der Vergleich der Messung 1 (Vermessung des TCP beim Bewegen von nur einer Achse) und der Messung 2 (Vermessung bei der vorherigen Bewegung von drei Achsen), dass der Endeffektor vor der Messung in allen Achsen bewegt werden muss. Nur so werden die Ungenauigkeiten aller Achsen erfasst und somit verwertbare Messergebnisse ermittelt.

8 Problemanalyse

Aufgrund der Erkenntnisse, die im Versuch gewonnen werden konnten, zeigt sich, dass andere Messmittel zur Positionsbestimmung des Roboters eingesetzt werden müssen. Da mechanische Sensoren nicht eingesetzt werden können, bieten sich als Alternative optische Sensoren an.

8.1 Implementierung eines neuen Messsystems

Mit Hilfe der Entscheidungsanalyse von Kapitel 5.1 können anstelle der Messtaster Multi-Funktions-CMOS-Analogsensoren im RP eingesetzt werden (siehe Abschnitt 4.2.9). Eine zylindrische Linse liefert einen extra scharfen Laserstrahl, der vom Messobjekt reflektiert wird und auf einen CMOS trifft. Mittels Triangulationsprinzip kann jetzt der Abstand zum Messobjekt anhand der Position des Lichtpunktes am CMOS berührungslos ermittelt werden. Die Wiederholgenauigkeit dieser Sensoren liegt, abhängig von der Modellreihe und Messkopftyp, zw. $1\mu\text{m}$ bis $100\mu\text{m}$. Da für den RP Messabstände bis 30mm ausreichend sind, kann ein Sensor gewählt werden, mit dem Messungen auf $1\mu\text{m}$ genau möglich sind. Der Sensor besitzt sehr gute Winkeleigenschaften³¹ und wird durch die Farbe oder Materialbeschaffenheit des Messobjektes nicht beeinträchtigt. [45]

8.2 Neukonstruktion

Diese ersetzt die Messeinheit „Messtaster“. Durch die optischen Sensoren (Multi-Funktions-CMOS-Analogsensoren) ist eine berührungslose Messung garantiert. Dadurch werden die Messergebnisse beim vermessen des Messobjektes an den leicht beweglichen Roboterarmen nicht verfälscht und können ausgewertet werden. Konstruktiv ist für den RP nur die Halterung der Messtaster auszutauschen, neue für die CMOS-Analogsensoren zu konstruieren sowie die Abschaltplatte so anzupassen, damit die neuen Sensoren ausreichend geschützt sind (Abb. 8.2.1).

³¹Winkeleigenschaften: Vermessung von Objekten auch dann möglich, wenn der Laserstrahl nicht normal auf die Oberfläche des zu vermessenden Teils auftrifft

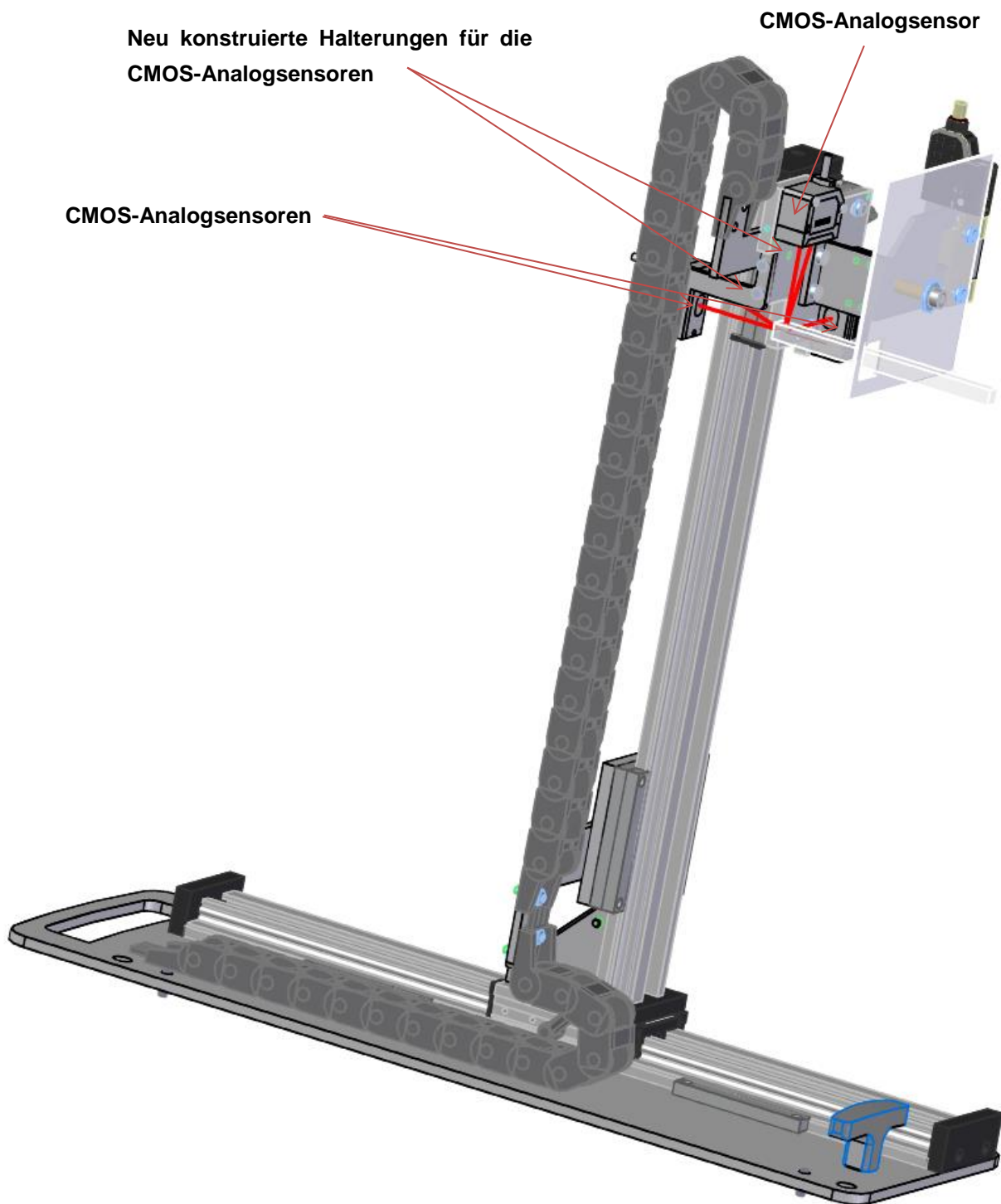


Abb. 8.2.1 Neukonstruktion der Messeinheit für die Positionsbestimmung

9 Schlussfolgerung

Industrieroboter etablieren sich für die verschiedensten Anwendungen in Produktions- und Fertigungsstätten. Auch für das Handling von Wafern haben sich Roboter durchgesetzt.

Voraussetzung für die laufende Produktion in der Linie sind Roboter, die Positionen im 5/100mm Bereich genau anfahren können. Ebenfalls ist es wichtig, dass Schäden frühzeitig erkannt und die Roboter rechtzeitig repariert werden. Stillstände während der laufenden Produktion bzw. Schäden an den produzierten Bauteilen bedeuten nicht nur finanzielle, sondern auch Imageschäden für die Firma.

Aus diesen Gründen ist es wichtig, dass potentielle Fehler der Roboter während des Serviceintervalls bzw. im Zuge ihrer Reparatur zuverlässig erkannt und alle Fehlerquellen beseitigt werden können.

9.1 Ziele

Bei Infineon Technologies Austria AG mit dem Standort in Villach werden die Industrieroboter derzeit zwar im Zuge der Serviceintervalle laufend gewartet, trotzdem sind Ausfälle im laufenden Betrieb nicht zu vermeiden.

Um diese Ausfälle zu verringern sollen die Roboter zukünftig nach einer Reparatur bzw. nach einem Service auf Fehlerfreiheit getestet werden und Schäden, die aufgrund bereits leicht beschädigter oder verriebener Bauteile auftreten könnten, erkannt und beseitigt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war daher, einen Roboterprüfstand zu konstruieren, mit dem einerseits die Positionsgenauigkeit des Endeffektors am Roboterarm ermittelt werden kann sowie das eventuelle Beschädigungen des Roboters, die noch keinen Einfluss auf die Positioniergenauigkeit haben, frühzeitig erkannt werden (z.B. Lagerschäden, Schäden am Seilzug bei Robotern mit Seilzugverstellung, usw.).

9.2 Umsetzung

Der Roboterprüfstand wurde so konstruiert, dass Roboter von unterschiedlichen Größen, Herstellern und Typen getestet werden können. Hierbei ist es egal, ob die Roboter für die Bodenmontage konzipiert wurden oder für die Befestigung auf einer Montageplatte.

Für die Vermessung der Position des Endeffektors ist ein Messobjekt konstruiert worden, dass auf den Roboterarm aufgeschraubt wird. Die Sensoren sind in einer Messstation verbaut, die am Roboterprüfstand an unterschiedlichen Positionen angebracht werden kann. Dies ist wichtig, da bei manchen Robotern nur Ausfahrten des Roboterarms in 90° Winkeln möglich sind.

Ursprünglich sollten für die Positionsvermessung des Tool Center Points am Roboter pneumatische Messtaster installiert werden, da diese, im Vergleich zu anderen Sensoren, die Genauigkeiten im μm -Bereich anzeigen, kostengünstig sind. Ein Versuch hat aber gezeigt, dass die Messkraft von 1 N bereits ausreicht, um das zu vermessende Objekt zu bewegen. Da die Messwerte durch diese Bewegung nicht verwertbar sind, wurden anstelle von berührenden Messtastern optische Sensoren eingesetzt. Außerdem hat der Versuch gezeigt, dass es nicht ausreicht, für die Vermessung den Roboterarm nur in einer Richtung zu bewegen, weil dadurch die Ungenauigkeiten der anderen Roboterachsen unberücksichtigt bleiben. Deshalb besitzt der RP zwei Messeinheiten für die Positionsvermessung, die so am RP positioniert sind, dass der Roboterarm alle Achsen bewegen muss, um beide Stationen anfahren zu können. Somit können bei der Vermessung am Prüfstand alle Achsungenauigkeiten des Roboters ermittelt und die Messwerte aussagekräftig ausgewertet werden.

Um auch leichte Schäden des Roboters erkennen zu können, gibt es eine weitere Messstation, an der ein CCD-Mikrometer montiert ist. Mit dieser Einheit ist es möglich, die Linearität der Verfahrensbewegung des Messobjektes zu ermitteln. Dadurch können bereits beginnende Lagerschäden oder unzureichende Seilspannungen am Roboter festgestellt werden. Erfolgt die Ausfahrt des Endeffektors am Roboter nicht linear, kann das auch zu Problemen bei mechanischen Greifern führen, an denen der Wafer nur durch seine Reibung aufliegt. Diese Wafer können bei ruckartigen Bewegungen des Greifers verschoben werden oder sogar herunterfallen.

Um die Montage der Roboter in den Prüfstand zu erleichtern, ist eine Montageplatte konstruiert worden, die an einem fahrbaren Montagewagen angebracht ist, an dem der Roboter für die Reparatur aufgebaut wird. Es können, während ein Roboter getestet wird, bereits andere Roboter repariert werden und nach Beendigung des Testlaufs vom vorherigen Roboter diese sofort überprüft werden.

9.3 Fazit

Um die Qualitätssicherung der Prozesse beim Waferhandling zu optimieren und zu verbessern, ist ein Roboterprüfstand praktisch unerlässlich. Das haben auch die Verantwortlichen bei Infineon erkannt und die Konstruktion dieses Prüfstandes beauftragt. Dieser hat bereits das Interesse von anderen Standorten geweckt, die ebenfalls Roboter überprüfen wollen und derzeit keine Testmöglichkeiten vor Ort haben.

Bei Infineon Technologies werden für das Waferhandling unter anderem auch neue Greifersysteme entwickelt. Mit dem Roboterprüfstand ist es optional möglich, diese Neuentwicklungen auf ihre Funktionalität zu überprüfen.

10 Literaturverzeichnis

- [1] Elektronik Praxis, „Elektronik Praxis,“ [Online]. Available: <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/leistungselektronik/articles/142452/>. [Zugriff am 18.05.2015].
- [2] icinsights, „IC Insights,“ 02 August 2013. [Online]. Available: <http://www.icinsights.com/news/bulletins/IC-Insights-Reveals-Big-Changes-To-1H13-Top-20-Semiconductor-Supplier-Ranking/>. [Zugriff am 18. Mai 2015].
- [3] austrian-mobile-power, „austrian-mobile-power,“ [Online]. Available: <http://www.austrian-mobile-power.at/mitglieder/mitglied/infineon-technologies-ag/show/>. [Zugriff am 6. Mai 2015].
- [4] Infineon, „Infineon Technologies,“ [Online]. Available: http://www.infineon.com/export/sites/default/media/regions/at/brochures/Jahresbericht_2014_digi-final_23122014.pdf. [Zugriff am 5. Mai 2015].
- [5] Infineon, „Infineon Intranet,“ [Online]. Available: <http://iweb.infineon.com/location/Villach/de-DE/organisation/fe/Seiten/default.aspx>. [Zugriff am 5. Mai 2015].
- [6] Genmark Automation, „Genmark Automation,“ [Online]. Available: http://www.genmarkautomation.com/products/tool-automation/vacuum/product_gb9.html. [Zugriff am 19.05.2015].
- [7] WsTech, „WsTech,“ [Online]. Available: http://www.wsktech.com/upload/image/shenhua%20GaAsGallium%20arsenide_lit.jpg. [Zugriff am 10.15.05.19].
- [8] thm, „homepages.thm,“ [Online]. Available: <https://homepages.thm.de/~hg6458/Robotik/Kinematik.pdf>. [Zugriff am 01. Juni 2015].
- [9] P. D. I. K. Müller, Robotik Vorlesungsskript, FH Mittweida.
- [10] Beuth Hochschule für Technik Berlin, Fachbereich VI - Informatik und Medien.
- [11] S. Hesse, Industrieroboterpraxis: Automatisierte Handhabung in der Fertigung, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 1998.
- [12] R.-G. Gräser, Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern, München: Herbert Utz Verlag, 1999.
- [13] Gossel, „Gossel,“ [Online]. Available: http://www.gossel.eu/Diss_03.pdf. [Zugriff

am 2 Juni 2015].

- [14] J. Schmalz GmbH, „Schmalz,“ [Online]. Available: <http://de.schmalz.com/aktuelles/presse/vakuumhandhabungssysteme/00122/>. [Zugriff am 19 05 2015].
- [15] Faulhaber, „Faulhaber Automation & Robotics,“ [Online]. Available: <https://extranet.faulhaber.com/n316339/n.html>. [Zugriff am 2015 05 21].
- [16] openpr, „openpr,“ [Online]. Available: http://www.openpr.de/images/articles/a/e/ae023a8f7f5a5ec59a8588d44376e4a7_g.jpg. [Zugriff am 19 05 2015].
- [17] M. Haun, Handbuch Robotik, Berlin: Springer, 2007.
- [18] J. W. Ziegler, „fh-duesseldorf,“ [Online]. Available: http://hmt.fh-duesseldorf.de/hmt/images/6/61/7_Kinematik.pdf. [Zugriff am 17 April 2015].
- [19] D. W. Werner Lorbeer, Wie funktionieren Roboter, Stuttgart: Springer, 2013.
- [20] D. S. Mohr, „all-electronics,“ [Online]. Available: <http://www.all-electronics.de/texte/anzeigen/57476/Kleine-Schutzengel-unter-den-Distanzsensoren>. [Zugriff am 7 Mai 2015].
- [21] iab, „iab-reinraumprodukte,“ [Online]. Available: <http://www.iab-reinraumprodukte.de/info-portal/glossar/reinraumklassen.html>. [Zugriff am 23 April 2015].
- [22] J. L. Zimmermann, Eine Methodik zur Gestaltung berührungslos arbeitender Handhabungssysteme, München: Herbert Utz Verlag, 2011.
- [23] S. Hesse, Robotergreifer: Funktion, Gestaltung und Anwendung industrieller Greiftechnik, München: Hanser, 2005.
- [24] handling.de, „handling.de,“ [Online]. Available: <http://www.handling.de/handhabung/bernoulli-sauger--bernoulligreifer--inline-ejektor--saugermodule--vakuumspannplatte-vakuum-handhabungssysteme--halten-mit-luft.htm>. [Zugriff am 27 05 2015].
- [25] Pfeiffer, „ttk.kit.edu,“ [Online]. Available: https://www.ttk.kit.edu/download/Handbuch_Pfeiffer_Vacuum.pdf. [Zugriff am 27 05 2015].
- [26] P. Heiland, „Elektrostatische Greifer und Verfahren zu dessen Herstellung“. Deutschland Patent EP 1387392 A2, 4 Februar 2004.
- [27] M. Heinz, Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme

für die Mikrosystemtechnik, Herbert Utz Verlag Wissenschaft.

- [28] pharma-food, „pharma-food,“ [Online]. Available: <http://www.pharma-food.de/ai/resources/f8e7a953ef1.pdf>. [Zugriff am 01 Juni 2015].
- [29] B. DeRienze, Z-Bot II User's Manual, U.S.A: Brooks Automation, Inc., 1996.
- [30] Brooks Automation, Atmospheric Single-Arm Robot, U.S.A.: Brooks Automation, 2005.
- [31] B. Varnum, MagnaTran 7.1 User's Manual, U.S.A: Brooks Automation.
- [32] Genmark Automation Inc., „Genmark Automation,“ [Online]. Available: http://www.genmarkautomation.com/products/tool-automation/atmospheric/product_gb4s.html. [Zugriff am 18 06 2015].
- [33] Micro Epsilon, „micro-epsilon,“ [Online]. Available: http://www.micro-epsilon.de/displacement-position-sensors/draw-wire-sensor/index.html?gclid=CL_pjNfSmMUCFYbItAod2B0AZg. [Zugriff am 23 April 2015].
- [34] Zeiss, „Zeiss,“ [Online]. Available: http://www.zeiss.de/industrial-metrology/de_de/produkte/systeme/portalmessgeraete/micura.html. [Zugriff am 2 April 2015].
- [35] Keyence, „Hochpräziser digitaler Messtaster,“ 2014.
- [36] M. M. G. M. R. S. H. S. L. W. Helmut Hoffmeister, Handbuch Ingenieurgeodäsie: Grundlagen, Wichmann, 2012.
- [37] S. Häussler, „Vermessungsseiten,“ 10 01 1997. [Online]. Available: <http://www.vermessungsseiten.de/kiel/vetheode.htm>. [Zugriff am 15 April 2015].
- [38] Faro, „Faro,“ [Online]. Available: <http://www.faro.com/de-de/produkte/3d-vermessung/laserscanner-faro-focus-3d/ueberblick>. [Zugriff am 1 April 2015].
- [39] Faro, „Faro,“ [Online]. Available: <http://www.faro.com/de-de/produkte/messtechnik/faro-lasertracker/ueberblick>. [Zugriff am 1 April 2015].
- [40] sukhang, „sukhang,“ [Online]. Available: http://www.sukhang.com/download/kontur3d_d.pdf. [Zugriff am 6 Mai 2015].
- [41] Keyence, „Ultraschneller Lichtschnittsensor mit 64.000 Profilen pro Sekunde,“ *Ultraschneller Lichtschnittsensor mit 64.000 Profilen pro Sekunde*, 2014.
- [42] Keyence, Mehrzweck-CCD-Laser-Mikrometer.
- [43] Keyence, „Optisches LED Lichtbandmikrometer Modellreihe LS-9000,“ 2014.
- [44] Bright red systems, pp. <http://www.bright-red-systems.com/PDF/BRS-RED->

Prealign-Sensor-G2_EN.pdf.

- [45] Keyence, „Optimierte stabile Erkennung - Laser-Differenz-Wegmesssensor“.
- [46] Waycon, „Waycon,“ [Online]. Available: http://www.waycon.de/fileadmin/waycon/dateien/produkte/ultraschallsensoren/UBA_Ultraschall_Bandsensor.pdf. [Zugriff am 23 April 2015].
- [47] u-GPS, „u-GPS,“ [Online]. Available: <http://u-gps.com/>. [Zugriff am 24 April 2015].
- [48] Genmark, Gencobot GPR Series Manual, U.S.A., 2002.
- [49] robotwelding, „robotwelding,“ [Online]. Available: <http://www.robotwelding.co.uk/online-robot-programming.html>. [Zugriff am 01 Juni 2015].
- [50] Keyence, „Ultraschnelle und hochgenaue Laser-Wegmesssensoren,“ 2014.

11 Anhang

In den folgenden Tabellen (Tabelle 11.1 und Tabelle 11.2) sind die ermittelten Messwerte des Versuchs aufgelistet.

11.1 Messwerte Versuch: 1. Messung (Bewegung von einer Achse)

Nr.	Messtaster 1	Messtaster 2	Messtaster 3	Mikrometer
1	0,00	0	0	0
2	0,02	-0,004	-0,024	0,02
3	0,02	-0,004	-0,014	0,02
4	0,00	-0,004	-0,02	0
5	0,02	0,009	-0,038	0,02
6	0,015	0,012	-0,03	0,02
7	0,006	0,007	-0,015	0,01
8	0,034	0	-0,035	0,03
9	0,016	0	-0,032	0,01
10	0,04	0,017	-0,04	0,03
11	0,03	0,013	-0,041	0,03
12	0,02	0,009	-0,033	0,02
13	0,006	0,011	-0,025	0
14	0,018	-0,005	0,008	-0,01
15	0,013	-0,007	0,002	0,01
16	0,046	-0,008	-0,008	0,05
17	0,057	-0,009	-0,021	0,06
18	0,015	-0,004	-0,016	0,02
19	0,012	-0,007	0,001	0,01
20	0,046	-0,004	-0,017	0,05
21	0,04	-0,005	-0,02	0,04
22	0,052	-0,008	-0,016	0,05
23	0,05	-0,01	-0,011	0,05
24	0,016	-0,007	0,002	0,02
25	0,04	-0,001	0,002	0,04
26	0,031	-0,003	-0,012	0,03
27	0,033	-0,002	-0,012	0,02
28	0,04	-0,002	-0,014	0,04
29	0,035	-0,001	-0,02	0,05
30	0,04	-0,002	-0,014	0,04

Tabelle 11.1 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von einer Achse

11.2 Messwerte Versuch: 2. Messung (Bewegung von 3 Achsen)

Nr.	Messtaster 1	Messtaster 2	Messtaster 3	Mikrometer
31	0	0	0	0
32	0,01	0,054	-0,016	0,03
33	0	0,044	-0,004	0
34	-0,065	0,033	0,004	0,01
35	-0,03	0,036	-0,05	0,07
36	-0,036	0,032	-0,054	0,07
37	-0,02	0,032	-0,06	0,09
38	-0,049	0,023	-0,053	0,06
39	-0,018	0,024	-0,064	0,09
40	-0,054	0,02	-0,037	0,05
41	-0,066	0,017	-0,03	0,05
42	-0,05	0,022	-0,055	0,06
43	-0,007	0,027	-0,071	0,1
44	-0,028	0,024	-0,063	0,08
45	-0,008	0,026	-0,07	0,1
46	-0,024	0,022	-0,06	0,08
47	-0,026	0,024	-0,064	0,08
48	-0,014	0,024	-0,068	0,09
49	-0,003	0,026	-0,078	0,1
50	-0,005	0,026	-0,076	0,1
51	-0,047	0,022	-0,042	0,06
52	-0,017	0,026	-0,063	0,09
53	-0,056	0,025	-0,026	0,05
54	-0,016	0,022	-0,066	0,09
55	-0,004	0,026	-0,065	0,1
56	-0,011	0,052	-0,074	0,05
57	-0,07	0,062	-0,071	0,05
58	-0,084	0,063	-0,066	0,04
59	-0,085	0,064	-0,059	0,04
60	-0,086	0,064	-0,051	0,05

Tabelle 11.2 Vermessung des Messobjektes bei der Bewegung von 3 Achsen

12 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und noch nicht veröffentlicht.

Personenkennzeichen

Thomas Stippich